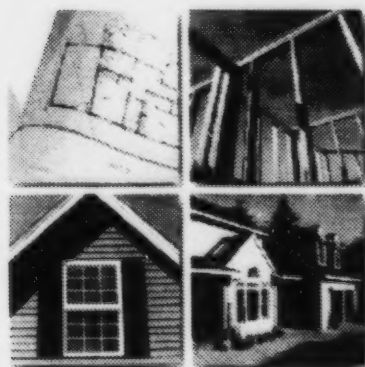


Canadian Housing Experience '99  
Fifth Canada-Japan  
Housing R&D Workshop

Charlottetown  
Prince Edward Island  
Canada  
August 23-25, 1999

カナダ住宅エクスペリエンス '99

第5回 カナダ・日本  
住宅 R&D ワークショップ



カナダ  
プリンス・エドワード・アイランド  
シャーロットタウン  
1999年8月23～25日

Organized by

Natural Resources Canada  
Building Research Institute of Japan  
Canada Mortgage and Housing Corporation

In co-operation with

National Research Council Canada

主催:

カナダ天然資源省  
日本建設省建築研究所  
カナダ住宅金融公社

協賛:

カナダ国立研究機構

*Proceedings*

講演・論文集



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada



Canada





## Citation

Various authors. *Fifth Canada-Japan Housing R&D Workshop Proceedings*. CANMET Energy Technology Centre, Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, 1999. (516 pp).

Copies of this report may be obtained through the following:

Energy Technology Branch – CANMET  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 13<sup>th</sup> floor  
Ottawa, Ontario  
K1A 0E4

or

Document Delivery Service  
Library and Documentation Services Division  
CANMET  
Natural Resources Canada  
562 Booth Street  
Ottawa, Ontario  
K1A 0G1

## DISCLAIMER

This report is distributed for informational purposes only and does not necessarily reflect the views of the Government of Canada nor constitute an endorsement of any commercial product or person. Neither Canada nor its ministers, officers, employees or agents makes any warranty in respect to this report or assumes any liability arising out of this report.

## NOTE

Funding for this project was provided by the Government of Canada under the Federal Panel on Energy Research and Development.

Minister of Supply & Services Canada 1999  
Catalogue No. M91-7-366-1999E  
ISBN. 0-660-61095-7

## 引用について

### 第5回カナダ/日本住宅 R&D ワークショップ 論文集,

オンタリオ州オタワ市カナダ天然資源省 CANMET エネルギー技術センター, 1999 年 (516 ページ)

この論文のコピーは, 下記にお申し込みください。

Energy Technology Branch - CANMET  
Natural Resources Canada  
580 Booth street, 13<sup>th</sup> floor  
Ottawa, Ontario  
K1A 0E4

または

Document Delivery Service  
Library and Documentation Services Division  
CANMET  
Natural Resources Canada  
562 Booth Street  
Ottawa, Ontario  
K1A 0G1

## 責任限定

この論文集は, 情報交換を目的とするものであり, カナダ政府の見解を反映するものでも, いずれの商品や個人を推薦するものでもない。また, カナダ政府並びにその関係者は, この論文集について, 何の保証を行うものではなく, 責任を負うものでもない。

## 注 記

このプロジェクトの資金は, エネルギー研究開発についての連邦政府の委員会のもとで, カナダ政府から提供されたものである。

Minister of Supply & Services Canada 1999  
Catalogue No. M91-7-366-1999E  
ISBN. 0-660-61095-7

## Table of Contents／目次

<b>Acknowledgements／謝 辞</b>	i
<b>Welcome Messages／歓迎の言葉</b>	iii
<b>Executive Summary／会議の要約</b>	vii
<b>Plenary Presentations／基調講演</b>	1
Environmental and Energy Conservation Measures in the Housing and Building Sector of Japan 我が国の住宅・建築分野における環境・省エネルギー対策 Yasuyuki Fujiwara, Ministry of Construction／藤原保幸(建設省)	3
Housing Construction in the 21st Century 21 世紀の住まい造り Kazuaki Bogaki, Ministry of Construction／坊垣和明(建設省)	13
Canada-Japan Workshop : A Retrospective of Accomplishments 1993-1999 カナダ/日本ワークショップ: 1993 年から 1999 年までの成果を振り返って Robin Sinha, Natural Resources Canada	29
<b>Session 1: Ventilation／分科会 1: 換気</b>	55
A Project on the Development of Hybrid System and Calculation Cases ハイブリット省エネ型換気・空調システムの開発の研究概要と計算例 Hiroshi Yoshino, Jing Liu and Jyun Wada, Tohoku University 吉野博, 劉京, 和田淳(東北大学)	57
Passive Ventilation System with Crawl Space Heating for Airtight Japanese Conventional Wooden Houses 日本の在来木造住宅における気密化とパッシブ換気・床下暖房システム Akira Fukushima, Yoshinori Honma, Cold Region Housing and Urban Research Institute; Masamichi Enai, Hokkaido University; Noboru Takasugi, Miyazawa Kogyo 福島明, 本間義規(寒地住宅都市研究所); 絵内正道(北海道大学); 高杉昇(宮澤鋼業)	69
Improvement of Exhaust-Only Ventilation System for Detached Houses by Using Partition Fans 室間ファンを用いた戸建住宅用排気セントラル換気システムの改良 Takao Sawachi, Ministry of Construction; Youji Migou, Sekisui Chemical Co. Ltd. 澤地孝男(建設省); 御江陽治(積水化学)	77

<b>Session 2: Indoor Air Quality / 分科会 2: 室内空気質</b>	93
Housing Performance and Health Study in PEI: A First Year Progress Report プリンスエドワードアイランド州における住宅性能と健康調査: 初年度進捗報告書 K. Ruest, Canada Mortgage and Housing Corporation; Jim H. White, System Science Associates Ltd.	95
Development of Technology Contributing to a Wholesome Residential Environment 健康的な居住環境形成技術の開発 Yasuo Kuwasawa, Haruki Osawa, Kazuaki Bogaki, Ministry of Construction; Hiroshi Yoshino, Tohoku University 桑沢保夫, 大澤元毅, 坊垣和明(建設省); 吉野博(東北大学)	107
Indoor Air Quality Levels in Homes of Environmentally Hypersensitive Individuals 住宅の室内空気質の測定試験 - 環境過敏症の居住者のために C.Y. Shaw, R.J. Magee, M. Kanabus-Kaminska, Institute for Research in Construction, National Research Council; V. Salares, Canada Mortgage and Housing Corp	120
Pollutant Emission Sources in New Housing 新築住宅における汚染物質の排出源 R. Dumont, Saskatchewan Research Council; P. Piersol, ORTECH International; D. Gerbasi, CIRICON; D. H. Hill, Canada Mortgage and Housing Corporation	132
<b>Session 3: Indoor Air Quality &amp; Energy Conservation</b> <b>分科会 3: 室内空気質と省エネルギー</b>	145
Material Emissions and Indoor Air Quality Modelling Project: An Overview 物質放散と室内空気質モデリングプロジェクト C.Y. Shaw, J. Zeng, J.S. Zhang, J.P. Zhu, J.T. Reardon, D. M. Sander, Institute for Research in Construction National Research Council Canada	147
Measurement of VOCs in Japanese Residences 居住状態における住宅室内の揮発性有機化合物に関する実態調査 K. Ikeda, K. Kumagai, The Institute of Public Health; M. Hori, National University of Yokohama; T. Matsumura, National Institute of Health Science; A. Nozaki, T. Bunka University; H. Kimura, Haseko Corp.; K. Iikura, Tokyo Institute of Technology 池田耕一, 熊谷一清(公衆衛生院); 堀雅宏(横浜国立大学); 松村年郎(国立医薬品食品衛生研究所); 野崎淳夫(東北文化学園大学); 木村洋(長谷工); 飯倉一雄(東京工業大学)	161

The Procos Solar House in Halifax, Canada ハリファックスに建設されたプロコス・ソーラーハウスについて Dimitri Procos, Technical University of Nova Scotia	181
Design and Performance (Under Actual Occupancy) of the LBS/TDI Advanced Home LBS/TDI 先進住宅の設計と居住性能試験 R. Kevin Lee, Natural Resources Canada	193
<b>Session 4: Building Envelope (Part 1) / 分科会 4: 建築外被(その 1)</b>	213
Properties and Mitigation Method of Condensation in Summer Conditions 夏型壁体内結露の特徴とその緩和法 Takao Tsuchiya, Toyo University / 土屋喬雄(東洋大学)	215
Creating Effective Air Barriers: Materials and Techniques 効果的エアバリアの構築: 材料と技法 Jacques Rousseau, Canada Mortgage and Housing Corporation	227
Hygrothermal Properties of Walls in Summer Conditions and Their Evaluation 夏季条件における壁体の温湿度性状とその評価に関する検討 Haruki Osawa, Hironao Seto, Ministry of Construction; Hirotaka Suzuki, Cold Region Housing and Urban Research Inst. 大澤元毅, 瀬戸裕直(建設省); 鈴木大隆(寒地都市住宅研究所)	241
Efficient and Durable Building Envelopes for Japan Part 1: Regional Classifications for Moisture Control in Japan 湿害防止を目的とした壁体の断熱気密仕様 その 1 湿害防止のための地域区分 Akihito Ozaki and R. Kevin Lee, Natural Resources Canada 尾崎明仁, R. Kevin Lee (カナダ天然資源省)	255
Efficient and Durable Building Envelopes for Japan Part 2: Wall Assemblies Meeting Regional Classifications for Moisture Control in Japan 湿害防止を目的とした壁体の断熱気密仕様 その 2 各地域に適する壁体構成 Akihito Ozaki and R. Kevin Lee, Natural Resources Canada 尾崎明仁, R. Kevin Lee (カナダ天然資源省)	271
<b>Session 5: Building Envelope (Part 2) / 分科会 5: 建築外被(その 2)</b>	287
Crawl Spaces: How to avoid moisture and soil gas problems 床下空間: 湿気および土壌ガスを防ぐ方法 Don Fuglar, Canada Mortgage and Housing Corporation	289

Comprehensive Research on Vertical Edge Insulation Method on Foudnation Walls in Detached Houses in Moderate Climate Region	301
---	-----

基礎断熱住宅の全国適用に関する調査・研究

H. Suzuki, Y. Honma, Hokkaido Prefectural Cold Region Housing  
and Urban Research Institute; Y. Sakamoto, Tokyo University;  
A. Nagata, Tokyo Metropolitan University; A. Iwame, Sekisui House  
鈴木大隆, 本間義規(寒地住宅都市研究所); 坂本雄三(東京大学)  
永田明寛(東京都立大学); 岩前篤(積水ハウス)

Evolution of Building Envelope Construction Techniques in Coastal British Columbia	321
---	-----

ブリティッシュコロンビア州沿岸地域におけるビルディング

エンベロープの建設技法の発展

C. Mattock, International Eco-House Inc.; K. Ito,  
K. Ito & Associate; T. Oshikawa; International Eco-House Inc.  
伊藤公久(K. Ito & Associate), 押川智雄(International Eco-House Inc.)

Simplified Indicator of Solar Heat Gain Effect for Residential Buildings: "corrected heat loss coefficient" with consideration of solar heat gain	331
--	-----

日射取得を考慮した熱性能表示についての一提案

Yuichiro Kodama, Kobe Design University  
小玉祐一郎(神戸芸術工科大学)

<b>Session 6: Energy Conservation / 分科会 6: 省エネルギー</b>	<b>343</b>
---	------------

Designing a Healthy House ? An Overview Jeff Armstrong, DAC International	345
--	-----

Energy Conservation Standards for Residential Buildings Revised for Japanese Next Generation	351
---	-----

住宅の次世代省エネルギー基準の特徴と効果

Yuzo Sakamoto, The University of Tokyo / 坂本雄三(東京大学)

The EnerGuide for Houses Quality Assurance Program 住宅品質保証プログラムのためのエナージェイド(The EnerGuide)	363
---	-----

Barbara Mullally Pauly, John Gusdorf, Natural Resources Canada

A Building Concept for the Next Millennium: Towards a Total Building System	376
--	-----

次世代における一つの建築概念ー建築(住宅)のトータルシステムに向けてー

Norimoto Kashino, Ministry of Construction / 榎野紀元(建設省)

- Evaluation of Multiple Tracer Gas Techniques in an Actual-Sized  
Test House with Known Airflow Rates 391

換気量既知の試験住宅を用いた多種ガス法の検定

Masamichi Enai, Kiyoshi Shimada and Fumiyuki Fukushima, Hokkaido University;  
Takao Sawachi, Hironao Seto, Building Research Institute, Ministry of Construction  
絵内正道, 島田潔, 福島史幸(北海道大学); 澤地孝男, 瀬戸裕直(建設省)

- Development of Heater/Dryer Unit with 24-hour Ventilation System 408  
24 時間換気機能付き浴室暖房乾燥機の開発

Tsuyoshi Takeda, Osaka Gas Co. Ltd./竹田剛(大阪ガス)

- Performance Assessment of Air Barrier Systems 412  
エア・バリア・システムの性能評価

A. Di Lenardo, National Research Council of Canada;  
Harunobu Murakami, Ministry of Construction of Japan/村上晴信(建設省)

- BASECALC: Software for Residential Basement and  
slab-on-grade heat-loss analysis 429

Ian Beausoleil-Morrison, Natural Resources Canada

- Model to Predict Fire Resistance of Wood-Stud Walls 431  
2×4 工法の壁の耐火性評価のコンピュータモデル

Hisa Takeda, Forintek Canada

- A Method of Fixing the Insulation Panels to the Wooden Frames  
form the Outside 435

パネル化した外側断熱構法

Masashi Iida, Hiroaki Kikuchi, Hokkaido Institute of Tech.;  
Jun-ichi Endo, OPS Architecture Design Inc.;  
Fumio Hasegawa, Hokkaido Architecture Vocational College  
飯田雅史, 菊地弘明(北海道工業大学); 遠藤順一(OPS 設計);  
長谷川文雄(北海道建設工学専門学校)

- Measurement of Wind Pressure Coefficient for an Apartment  
House in Urban Area 439

市街地の集合住宅における風圧係数の実測

Hironao Seto, Takao Sawachi, Ministry of Construction  
瀬戸裕直, 澤地孝男(建築研究所)

- Concealed Condensation in Wood Frame Construction Walls  
during Cooling Periods of Summer Season: Comparison of  
laboratory experimental study with field measurement 443

冷房時における夏型壁体内結露: 人工気候室及びフィールド  
における検討結果

Hiroaki Saito, Japan Testing Centre for Construction  
Materials; Takao Tsuchiya, Toyo University  
齋藤宏昭(建材試験センター); 土屋喬雄(東洋大学)



Parametric Analysis of Wall Drying ? Stucco Cladding Donald M. Onysko, DMO Associates	455
Advanced Integrated Mechanical Systems (AIMS) Field Trials and Barriers Project Industry Consortium Jamie Glouchkow, Natural Resources Canada	457
HOT2000™ Natural Resources Canada	459
Compact Heat Exchanger Evaluation for Natural Convection Applications コンパクトな自然対流・熱交換器の設計・評価 S.J. Harrison, J. Purdy, Solar Calorimetry Lab, Dept. of Mechanical Engineering, Queen's University	463
What is the Commercial Building Incentive Program? 商業用ビル推奨プログラム Allen Carpenter, Maria Mottilo, Natural Resources Canada	467
A Plan for the Medium-Sized Building with Large Space, Using Engineered Wood and Insulation Panels and its Instance エンジニアードウッドとパネルを用いた中規模大空間建築物の計画とその実施例 J. Tezuka, J-Architecture System Inc., M. Iida, H. Kikuchi, Hokkaido Institute of Technology; J. Endo, OPS Architecture Design Inc. 手塚純一 (J 建築システム) ; 飯田雅史, 菊地弘明 (北海道工業大学) 遠藤順一 (OPS 設計)	471
Canadian Centre for Housing Technology Tim Mayo, National Research Council Canada	475
Field measurements on the Performance of PV system in a House 住宅における太陽光発電システムに関する実測研究 Sachiko Hirota, Tokai University / 廣田幸子 (東海大学)	478
Participants List / 参加者リスト	483

## Acknowledgements

The success of such an international workshop is the result of a team effort for which several partners, from both Canada and Japan contributed extensively to the preparation of the workshop. Natural Resources Canada, Canada Mortgage and Housing Corporation and the Building Research Institute of Japan gratefully acknowledge the contributions and input of National Research Council Canada, Trade Team P.E.I., Atlantic Canada Home, the Ministry of Construction of Japan, JISTEC, Japan 2 x 4 Home Builder Association and IBEC.

## Fifth Canada-Japan Housing R&D Workshop

The Canada-Japan Housing Research and Development Workshop is a bilateral forum between Canada and Japan the purpose of which is to share and exchange recent advances in the field of housing research and technology development. The workshops have provided a venue for researchers and private sector from both countries to exchange issues and suggest solutions to the improvement in the construction, quality and performance of housing. The results of this work are not only for the benefit of those who live in houses; but also to develop solutions in a manner that supports energy efficient and sustainable development principles in order to reduce the overall impact of housing on the environment.

### 謝 辞

このワークショップは、カナダ/日本の国際協力により開催することができました。カナダ天然資源省、カナダ住宅金融公社、日本国建設省建築研究所の多大なご協力に心より感謝いたします。また、カナダ国立研究機構、P.E.I.貿易チーム、アトランティック・カナダ・ホーム、日本国建設省、日本国科学技術庁、(社)日本ツーバイフォー建築協会、(財)住宅・建築省エネルギー機構のご支援に深く感謝いたします。

### 第5回カナダ/日本住宅 R&D ワークショップ

カナダ/日本住宅 R&D ワークショップは、日加両国が住宅の研究開発分野で先進技術を共有あるいは交換するためのフォーラムと位置付けられます。カナダ/日本両国の産官学の研究者および代表者に、住宅の建築技術、品質、性能の改善を目指した意見交換の機会を提供しています。このワークショップの目的は、居住者の利益・恩恵を追求し、しかも住宅産業による環境への負荷を緩和するため、省エネルギー対策や持続可能な開発などを進めることです。





# Fifth Canada-Japan Housing R&D Workshop

Charlottetown, Prince Edward Island

August 22-25, 1999

Dear Delegates,

Welcome to the 5th Canada-Japan Housing R&D Workshop. This year's workshop marks over six years of co-operation between not only Canada and Japan, but between our many industry and government partners.

This workshop is a valuable opportunity to stimulate ideas that create energy-efficient and healthy housing technologies. The ideas we exchange this week will go a long way to bringing advanced buildings technologies into greater use around the world.

This year the focus is on a range of technologies that contribute to a new generation of sustainable housing. As in past years, the underlying principles of information, cooperation, imagination and hard work are paramount.

Workshops such as these, remind us that we need sustainable solutions that balance the needs of our economies with those of the environment. Our R&D workshops in the past have illustrated that many of these solutions — ones that incorporate energy efficiency and environmental protection — rest with technology and innovation.

The subjects discussed and progress made will lead to innovative climate-friendly technologies. This international cooperation will advance these climate change solutions. All are essential components to reducing greenhouse gases emissions and meeting our climate change goals.

Best wishes for a successful and productive workshop.

Bryan Cook  
Director General,  
CANMET Energy  
Technology Centre  
Natural Resources  
Canada

Joan Dalrymple  
General Manager,  
Atlantic Business Centre  
Canada Mortgage &  
Housing Corporation


Sherif Barakat  
Director General,  
Institute for Research  
in Construction  
National Research  
Council Canada



Government  
of Canada

Gouvernement  
du Canada

Canada  
iii



# Fifth Canada-Japan Housing R&D Workshop

Charlottetown, Prince Edward Island

August 22-25, 1999

カナダ/日本住宅 R&D

ワークショップ参加者 各位

第 5 回カナダ/日本住宅 R&D ワークショップへご参加頂き有り難うございます。今回のワークショップは、カナダと日本および企業と公的機関の 6 年以上に亘る協力関係の賜です。

このワークショップは、省エネルギーと健康住宅に関する先進技術・アイデアを交換し合う貴重な機会です。今後の皆様のご活動に多に貢献すると存じます。

今回は、次世代に向けた持続可能な住宅技術にも焦点が当てられています。過去のワークショップと同様、皆様のご協力、情報提供、創意、積極的な討論にご期待申し上げます。

今日の環境問題は、持続可能な建築の重要性を示唆しており、そのために必要な経済的な効率の改善（経済的な持続可能建築の追求）も言及しています。過去のワークショップは、省エネルギーおよび技術革新がその問題を解決することを示しています。

上記問題に関する議論は、国際協力事項である気候変動枠組条約のための技術革新をも意味しています。グリーンハウス・ガス（フロンガス、CO<sub>2</sub> 等）の削減は国際間の必須事項であり、今回のワークショップの成果は、その解決策の一つになると確信しています。

最後に、ワークショップの成功と成果を期待して歓迎の言葉と致します。

**Bryan Cook**

カナダ天然資源省  
CANMET エネルギー  
技術センター所長

**Joan Dalrymple**

カナダ住宅金融公社  
アトランティック・  
ビジネス・センター所長

**Sherif Barakat**

カナダ国立研究機構  
建築研究所所長

## Prince Edward Island

### Office of the Premier

Tel 902 368 4400  
Fax 902 368 4416  
<http://www.gov.pe.ca/>

95 Rochford Street  
PO Box 2000  
Charlottetown  
Prince Edward Island  
Canada C1A 7N8



## Île-du-Prince-Édouard

### Cabinet du Premier ministre

95, rue Rochford  
C.P. 2000  
Charlottetown  
Île-du-Prince-Édouard  
Canada C1A 7N8

Tél. 902 368 4400  
Télec. 902 368 4416  
<http://www.gov.pe.ca/>

## Welcome to Prince Edward Island!

On behalf of the Government of Prince Edward Island, I would like to take this opportunity to say what a delight it is for our province to be hosting the fifth Canada-Japan Housing Research and Development Workshop.

During your visit, I hope that you will have the opportunity to experience the natural beauty of our province and the warm hospitality of its people. We believe we live in a very special place with the world's most beautiful beaches, challenging golf courses, pristine landscapes, historic sites and of course, Anne of Green Gables.

I am sure that your meeting here in Charlottetown, the Birthplace of Canada, will be productive and your stay enchanting. I hope you have the opportunity to visit Prince Edward Island again soon. Once again, welcome to Prince Edward Island and enjoy your workshop.

Sincerely,

Pat Binns, Premier  
Prince Edward Island

# Prince Edward Island

## Office of the Premier

Tel 902 368 4400  
Fax 902 368 4416  
<http://www.gov.pe.ca/>

95 Rochford Street  
PO Box 2000  
Charlottetown  
Prince Edward Island  
Canada C1A 7N8



# Île-du-Prince-Édouard

## Cabinet du Premier ministre

95, rue Rochford  
C.P. 2000  
Charlottetown  
Île-du-Prince-Édouard  
Canada C1A 7N8

Tél. 902 368 4400  
Télééc. 902 368 4416  
<http://www.gov.pe.ca/>

## プリンス・エドワード島へようこそ！

プリンス・エドワード・アイランド州政府を代表し、この場をお借りして皆様にご挨拶申し上げます。第5回カナダ/日本住宅 R&D ワークショップが我州で開催されることを大変喜ばしく思っております。

ご滞在中に、この州の美しさ、ここに住む人々の温かいもてなしを味わって頂きますようお願いしております。ご存知のとおり、この地は世界でも有数の美しい海岸線、素朴な風景、由緒ある史跡に恵まれ、また「赤毛のアン」の物語の舞台でもあります。素晴らしいゴルフ場も備え、訪れた方を魅了してやまない島だと思います。

カナダ誕生の地、シャーロットタウンでの会議が実り多く、ご滞在が有意義でありますようお願い申し上げます。またのご来訪をお待ち申し上げます。  
最後に、ご来州を心から歓迎致しますと共に、ワークショップを享受されますよう重ねて申し上げます。

プリンス・エドワード・アイランド州知事

Pat Binns



## Executive Summary

The Fifth Canada-Japan Housing R&D Workshop was held in Charlottetown, Prince Edward Island, 23-25 August 1999, following the annual meeting of the Canada/Japan R-2000 Housing Committee.

Over 100 representatives of the housing industry, building researchers, building product suppliers, utility representatives, regulatory authorities and government officials from Canada and Japan were registered at the Workshop, with half the participants coming from Japan.

Discussion themes around which the Workshop was structured were selected based on research areas of mutual interest, and the accomplishments of the previous four Workshops over the last 6 years. It is worth noting that many of these themes, critical for the advancement of energy-efficient, healthy, and environmentally friendly housing, have been on the agenda of all workshops. New themes were introduced, including hybrid ventilation systems, performance codes, and energy-efficiency labeling and promotion.

In the interest of all participants, the workshop agenda was based on a single-track program. Twenty-four technical papers, in addition to four plenary papers, were presented. Presentations revolved around four specific themes:

- Theme 1: Ventilation System
- Theme 2: Indoor Environmental Performance
- Theme 3: Building Envelope
- Theme 4: Energy Conservation

Under Theme 1, **Ventilation System**, a key issue was the design and evaluation of simplified ventilation distribution strategies for houses combining passive and mechanical ventilation. The challenge continues to develop suitable ventilation in airtight houses without incurring costs or construction challenges associated with fully ducted mechanical ventilation systems. The potential for passive ventilation systems and systems that operate on demand from indoor air quality sensors or occupancy sensors were also presented as possible solutions for reducing the energy associated with delivering and distributing ventilation air.

Presentations and discussions under Theme 2, **Indoor Environmental Performance**, are closely related to ventilation performance. Ventilation rates and energy consumption can be reduced if it can be demonstrated that pollution from indoor materials is reduced. There is a growing wealth of experience and data on emissions from materials in both Japan and Canada, and measurements of formaldehyde (HCHO) and volatile organic compounds (VOC's) in houses was presented. It was recognized that there still remains much work in this field including agreement on material testing standards and engaging industry in the development of a suitable material labelling system for material emissions to provide guidance for consumers. Field research was presented that showed the range of indoor air quality and health problems developing in houses as a result of poor ventilation and construction. More research and documentation of the adverse

health effects of poor indoor air quality was considered critical in order to create the demand in the marketplace for "healthier" materials.

Under Theme 3, **Building Envelope**, the focus of the discussions was on moisture related issues, particularly since building air tightness is continually increasing in both Canada and Japan. An overview of air tightness requirements in Canada provided a historical perspective on current air tight design practices in Canada. Current concerns deal with condensation-related problems in airtight buildings located, in particular, in hot and humid climate zones. Innovative system designs were presented to deal with this issue, including building envelopes with exterior vented cavities for both cold and hot humid climates. Research also showed that problem areas such as basements and insulated crawl spaces could be properly designed and insulated to avoid condensation.

Theme 4, **Energy Conservation**, represents the integration and application of many of the issues discussed in the other theme areas. A number of specific areas were highlighted. New energy standards are being developed in both Canada and Japan to further promote the implementation of energy efficiency measures in the market place. Energy labeling programs are used to demonstrate and quantify energy benefits. Field monitoring is providing real-life energy saving data in high performance houses under regular occupancy.

In conclusion, this workshop was extremely effective at fostering exchanges and strengthening working relationships between the research community, industry and the governments.

Expectations for on-going, future collaborative work include effective research information exchange to accelerate each country's respective work and foster parallel research in closely related areas, and industry support through technology deployment at the international level and technical fora organized on a regular basis.

Finally, discussions were held regarding the possibility of organizing a follow-up event, the 6<sup>th</sup> Japan-Canada Housing R&D Workshop.

## 会議の要約

第5回カナダ/日本住宅 R&D ワークショップが、第6回カナダ/日本 R-2000 住宅委員会年会に引き続いて、1999年8月23-25日にプリンス・エドワード・アイランド州シャーロットタウンで開催される。

このワークショップには、カナダおよび日本から住宅産業および住宅建設の実務者、建築部材製品供給者、建築設備供給者、建築関係の研究者、および政府関係機関の代表者ら 100 名以上が参加する。うち、半数以上は日本からの参加者である。

今回のテーマは、基本的には過去 4 回のワークショップの課題「省エネルギー・健康住宅・環境保全住宅」などを継承しているが、新たに「ハイブリッド換気システム」「性能基準」「省エネルギー表示」が加えられる。

カナダ/日本に共通した研究課題として、以下の 4 つのテーマについて総合講演(4 回)、論文発表(24 編)が用意されている。

- テーマ 1: 換気システム
- テーマ 2: 室内環境
- テーマ 3: 建築外被
- テーマ 4: 省エネルギー

テーマ 1: 換気システムでは、主にパッシブ換気と機械換気を組み合わせたハイブリッド換気システムの設計と評価について議論する。ハイブリッド換気システムは、気密住宅の安定した換気を目的とし、全ダクト式機械換気システムに比べ施工が容易で経費を抑えられる。また、パッシブ換気システムと室内空気質および在室者に反応する制御換気システムも省エネルギー換気方式として提案される。

テーマ 2: 室内環境では、化学汚染物質の排出源・排出量と換気による室内環境の改善について詳細に報告される。ホルムアルデヒド(HCHO)、揮発性有機化合物(VOC)の測定方法および建材から揮発する化学物質の基礎データも提示される。カナダ/日本の双方により膨大な基礎データが測定・収集されているが、未解決な部分も多い。測定試験方法の基準化および諸機関の同意を得た材料の放散基準の表示精度(消費者への情報提供)もその一つである。また、建物および換気の不備から発生する室内空気質の悪化、建物内で生じる健康障害に関する実態調査も例示される。多数の研究報告が劣悪な室内環境に起因する健康障害を明らかにしており、「健康材料」の開発の必要性を示している。

テーマ 3: 建築外被の主題は、気密化による蒸暑地域での湿害(内部結露・カビ・腐朽)である。寒冷地域から蒸暑地域に至る幅広い気象条件に対して、ある特定の気象条件あるいは全ての条件に適用できる壁体システムが提案される。総合講演では、カナダで実施されている気密設計構法が紹介される。また、結露被害の多い地下室および床下の気密断熱化による防露方法について議論する。

テーマ 4: 省エネルギーはテーマ 1~3 の内容を包含しており総括と考えられる。日本の次世代省エネルギー基準の概要、およびカナダ/日本で導入された省エネルギー表示プログラムについて討論する。居住環境下におけるエネルギー消費量に関するモニター試験も例示される。

ワークショップは、カナダ/日本の産官学の研究者および代表者の協力関係を構築し、先進技術について意見交換できる貴重な機会となる。

将来に亘り両国の関係を維持し、より困難で複雑な問題に取り組むため、共同研究の推進、国際間の技術共有および企業支援、定期的な技術フォーラム等、協力態勢のさらなる発展に期待する。

最後に、第 6 回カナダ/日本住宅 R&D ワークショップの計画について討議する。

# **Plenary Presentations**

基調講演



# **Environmental and Energy Conservation Measures in the Housing and Building Sector of Japan**

Yasuyuki Fujiwara, Head of Wooden Housing Promotion Division  
Housing Production Division, Housing Bureau  
Ministry of Construction

## **I. Trend in Environmental Problems surrounding the Housing and Building Sector**

### *1. Trend in actions to arrest global warming*

On April 1, 1997, the Ministerial Conference for Promoting Comprehensive Energy Measures acknowledged the Comprehensive Energy Conservation Measures Through the Year 2000. These measures included the necessity for promotion of energy conservation for new and existing houses and buildings (non-residential) as an energy conservation measure in the private sector.

The 3<sup>rd</sup> Conference of Signatories (COP3) of the Framework Convention on Climate Change, held from December 1 to 11, 1997, in Kyoto, adopted the protocol containing the quantitative reduction target of greenhouse gas emissions. In this protocol, the target reduction period was set to be five years from 2008 to 2012, during which the CO<sub>2</sub> and other gases emission reduction rate was specified for principal countries: -6% for Japan, -7% for the USA, -8% for EU, -6% for Canada,  $\pm 0\%$  for Russia, +8% for Australia, etc.

In response to the result of the Kyoto Conference, the Headquarters of Action Program to Arrest Global Warming headed by the Prime Minister was set up according to the decision in the cabinet meeting held on December 19, 1997. On June 19, 1998, the Guidelines for Action Program to Arrest Global Warming were prepared, including the two goals as measure to be taken in the housing and building sector; (1) strengthening of the energy conservation criteria for houses and buildings, (2) promotion of provision of information on houses and buildings, etc.

In response to the report from the Assembly and Conference of Councils Engaged in Domestic Measures to Stop Global Warming, the Building Council, in the Building Production Work Group of the Building Administration Committee, held discussions on environmental measures including global warming prevention, etc. to be taken in the housing and building sector. The results thereof were summed up in the Proposition on How Environmental Measures should be in the Housing and Building Sector, as of June 1, 1998.

### *2. Trends in Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Gas Emission*

#### *(1) Trends in energy consumption*

The energy consumption of Japan decreased temporarily due to soaring of oil prices during first and second oil crises, but increased by about 3% in 1980s. Recently, the energy consumption has increased further as a general trend.

Energy consumption by sector shows the most remarkable increase in the cargo /passenger transportation sector which is followed by the household and commercial sector. The energy



consumption in the household and commercial sector accounts for about a quarter of the total energy consumption, increasing its share.

When the energy consumption of foreign countries is compared in terms of the gross quantity, Japan is lower than the USA and China, but higher than EU countries. The per capita energy consumption is relatively small.

## **(2) Trends in the CO<sub>2</sub> gas emission**

The CO<sub>2</sub> gas emission is increasing in line with increase in the energy consumption. The increase rate was 8.1% from 1990 to 1995. Breakdown of the CO<sub>2</sub> gas emission shows that the household and commercial sector accounts for about 1/4. Namely, the household accounts for more than one half of it.

When the CO<sub>2</sub> gas emission is compared in terms of the gross quantity, Japan accounts for about 5% of the work consumption, but per capita emission is ranked on the medium level.

## **II. Promotion of Energy Conservation Measures in the Housing and Building Sector**

### ***1. Stepping up the energy conservation criteria for houses and buildings***

The energy conservation criteria established in compliance with the Law for the Rationalization of Energy Consumption (enacted in 1979, hereinafter called Energy Code) aim to oblige the building owners to make efforts for implementing the energy conservation measures according to this standard. This law was enacted in 1980 and was amended in 1992.

However, there had been some voice pointing out that the content of the criteria was less stringent than those of advanced countries. Under these circumstances, Japan was requested to apply more severe standard from the viewpoint of global warming prevention. With this background, efforts were made from 1995 towards establishing a standard (next-generation energy conservation criteria) which will be more effective than the current one, and as a result, modification and enhancement of the criteria were implemented on March 30, 1999. This amendment aims to reduce the energy consumption for heating/cooling of houses by 20%.

With regard to the energy conservation criteria in the building (non-residential) sector, it was provided as the "building owner's determination criteria for the building owners" (Notification of Ministers of Construction and International Trade and Industry, "Adiabatic Performance Criteria"), which was enacted in 1980 and amended in 1993. Since then, as in the case of those for the housing sector, this criterion also was subject to further amendment to be more stringent on March 30, 1999. This amendment aims at reducing the energy consumption of buildings (non-residential) by 10%.

### ***2. Provision of incentives towards promotion of energy saving in houses and buildings***

Conventionally, development and construction of the houses complying with the energy conservation criteria have been promoted with the system of additional financing (¥1 million/house) of the Government Housing Loan Corporation. As of 1997, this system was applied to about 39% of houses built under government housing loan. From April 1999, additional financing of ¥2.5 million per house started for houses complying with the next-generation energy conservation criteria, in addition to the conventional additional financing system. The basic interest rate is also applied to houses offering a certain performance

including energy conservation.

Since the year 1993, the Japan Development Bank, etc. has been extending the low-interest loan for the cases introducing energy saving type building equipment into the buildings of high energy saving performance. In 1997, this low interest-rate-financing scheme was expanded to the existing buildings as well, so that the building equipment therein was able to be renewed and improved in heightening the energy saving performance.

Moreover, special incentives are being applied to the income tax, etc. for the cases which a piece or pieces of equipment of a certain energy saving level is or are purchased and used for business.

### *3. Promotion of information to consumers*

#### *(1) Provision of the housing performance indication system*

To help consumers to select a house with a high energy saving performance, there has been a consensus pointing out that it is necessary to provide a new system (housing performance indication system) which is to label the housing performance in a manner easy for consumers to understand. In June 1999, the Law to Promote Securing of the Quality of Houses was enacted, including the housing performance-indication system as a main requirement. Currently, provision of necessary measures is underway towards the implementation of this law.

#### *(2) Promotion of performance indication of buildings (non-residential)*

Concerning the buildings which meet the energy conservation criteria of buildings in compliance with the Energy Code, and those which meet the Efforts Guidelines of the Energy Conservation and Recycle Law, it is important to create a system to provide an energy saving level mark according to their energy saving performance, and to make the presence of such buildings stand out, thereby enhancing consciousness of building owners on energy conservation. This system was started in March 1999.

### **III. Promotion of Building Byproducts and Recycle Measures Contributing to Resource Saving**

#### *1. Necessity of waste measures in the building industry*

Building wastes account for 19% of industrial wastes discharged in Japan, the highest percentage in all industries. The ratio of their reuse and reduction is 58%, which is considerably lower than about 80% or the average of industrial wastes. In particular, this ratio is no more than 42% (as of 1995) in the case of building works that are executed individually and discretely.

The remaining capacity of final disposal site of wastes in Japan, even if construction of new landfill is included, is estimated to become zero all over Japan in 2008, if the current trend continues as it is. .

#### *2. Setup of the target by the Ministry of Construction*

The Ministry of Construction established the guideline for environmental policy instruments in

1994, then Recycle Plan 21 which aims at reduction of the disposal amount of construction wastes by half by the target year of 2000.

The Construction Wastes Measures Promotion Meeting established in the Ministry of Construction reviewed Recycle Plan 21 and established the Construction Recycle Promotion Plan '97 in October 1997, stating that owners of public works should take a leadership in promoting recycles with a view to reducing the final disposal amount of construction wastes to zero in the future.

Considering that the recycle ratio of mixed wastes or woods from the demolition work still remains on the low level, the Demolition and Recycle System Study Group was established, which drew up the report in October, 1998. In this report, "definition of the owner's obligation to bear costs" and "provision of a system to check demolition works" are set up as goals of primary necessity which should be designed to afford the requirements according to each of the demolition steps, recommending establishment of required measures including legal provision.

### *3. Waste measures in the housing and building sector*

In the private building sector, including housing, setting up of the longer durability of housings and recycling of building-mixed waste and building-wooden waste are set up as those to be met as common requirement for application of the basic interest rate of the scheme of Government Housing Loan Corporation.

Since April, 1999, the application of special incentives with government housing loan corporation has been made to demolition according to the adequate measures, aimed at promotion of adequate handling of demolition wastes.

Future subjects requiring priority study include measures to promote utilization of recycle building materials, setup of a new system to promote adequate demolition and recycle.

## **IV. Promotion of Environmental Measures in the Housing and Building Industries**

### *1. Movement of the Japan Federation of Housing Organizations*

In July 1996, the Japan Federation of Economic Organizations (Keidanren) adopted and publicized the Keidanren Appeal as an independent action declaration of the economic circles for the 21<sup>st</sup> century. It also requested each economic organization to establish the independent action program toward environment conservation along this Appeal.

In response to the request of Keidanren, the Japan Federation of Housing Organizations established the action program (Housing Industry Voluntary Environmental Action Plan) for environmental measures in the housing sector, which included the target figure of CO<sub>2</sub> gas emission. This was publicized in June, 1998.

In addition, since 1997, the Japan Federation of Housing Organizations established a system to assist enterprises or entities which are engaged in dissemination and enlightenment, research and development, technical development, and greenage and beautification activities contributing to promotion of environmental measures for housings ("Housing Environmental Action Assistant Project").

## **2. *Establishment of International Standard related to Environmental Management System (EMS) and EMS Study Meeting***

In Japan, considerable number of enterprises, mainly in electric and machinery sectors and general machinery sector, are accredited certifications of ISO14000s. But, in the house and building industry, only a part of enterprises obtain such certification.

In June 1996, the study meeting comprising pertinent industries, people of learning and experience, and administration (EMS study meeting) started to proceed with drafting of guidebooks for introduction of EMS in the development sector of housing and buildings. The meeting summarized the results in March, 1998.

## **V. Others**

### **1. *Environment-friendly housing area model project***

The Ministry of Construction, according to the scheme of environment-friendly housing area model project, provides assistance to development of housing urban areas which may serve as a good model in meeting a certain number of requirements such as reduction of environmental impacts, so that spreading of green houses may be promoted, taking account of environmental issues, including prevention of global warming, etc.

**Builder:** Local authorities, Housing and Urban Development Corporation, Regional Development Corporation, Housing Corporation, and private contractors

**Projects worth of assistance:** in this scheme, the following can be awarded subsidy for development; water-permeable pavement, rainwater percolation facilities, green open area, waste treatment system, water effective utilization system, solar energy utilization system, cogeneration system.

### **2. *Measures concerning effects on the health by chemicals in the house***

Along with the improvement of the air-tightness of houses in recent years, cases of adverse impact on human health have been closed up as problem, which may result from chemical substances from interior materials of rooms.

In July 1996, the Healthy House Research Group was established, comprising people of learning and experience, industrial organizations, agencies concerned (Ministry of Construction, Ministry of International Trade and Industry, Ministry of Health and Welfare, and Forestry Agency). This group addressed the measures to reduce the effect on human health of chemicals (formaldehyde, etc.) which generate within rooms. In April 1998, the group prepared and publicized the results as "Design and Construction Guidelines" and "Users Manual."

# 我が国の住宅・建築分野における環境・省エネルギー対策

藤原 保幸

建設省 住宅局 住宅生産課 木造住宅振興室長

## I 住宅・建築分野をとりまく環境問題の動向

### 1. 地球温暖化対策に関する動向

- ・平成9年4月1日、総合エネルギー対策推進閣僚会議が、「2000年に向けた総合的な省エネルギー対策」を了承した。同対策には、民生分野の省エネ措置として、新築及び既存の住宅・建築物の省エネ化の推進の必要性等が盛り込まれた。
- ・平成9年12月1日～11日まで京都で開催された、気候変動枠組条約の第3回締約国会議（通称；COP3）において、温暖化効果ガスの排出量削減の数量目標等を内容とする議定書が採択され、この議定書の中では、目標期間を2008年～2012年の5年間とし、主要国の二酸化炭素等の排出量の削減率を、日本△6%、アメリカ△7%、EU△8%、カナダ△6%、ロシア±0%、オーストラリア+8%等とすること等が定められている。
- ・京都会議の結果を受け、平成9年12月19日の閣議決定により、首相を本部長とした「地球温暖化対策推進本部」が設置され、平成10年6月19日に「地球温暖化対策推進大綱」をとりまとめ、住宅・建築分野の対策として、①住宅・建築物の省エネルギー基準の強化、②住宅・建築物に関する情報提供の推進等を掲げている。
- ・建築審議会では、「関係審議会合同会議」の報告を受け、住宅・建築分野の地球温暖化防止等環境対策を検討するため、建築行政部会建築生産分科会において審議し、平成10年6月1日に「住宅・建築分野の環境対策のあり方に関する建議」として成果を取りまとめている。

### 2. エネルギー消費、二酸化炭素排出の動向

#### (1) エネルギー消費の動向

- ・我が国のエネルギー消費は、第1次・第2次石油危機時の原油価格の高騰の影響から一時的に減少したが、80年代は3%程度の伸びで推移し、近年はさらに上昇の趨勢。
- ・部門別にエネルギー消費をみると、運輸・旅客部門の伸びが著しく、民生・家庭部門がこれに次ぐ。民生部門のエネルギー消費は、全エネルギーの約1/4を占め、近年シェアが拡大している。
- ・諸外国のエネルギー消費量を総量で比較すると、日本は、米国、中国を下回るが、EU諸国を上回る。一人当たりの消費量では、むしろ比較的少ない。

#### (2) 二酸化炭素排出の動向

- ・二酸化炭素の排出量も、エネルギー消費量の増大に伴って増加傾向にあり、1990年から19



95年で8.1%の上昇。二酸化炭素の排出量の内訳でも、民生部門は約1/4を占め、家庭部門が過半を占める。

- ・二酸化炭素排出量を総量で比較すると世界全体の5%程度に及ぶが、一人当たり排出量は中位にある。

## Ⅱ 住宅・建築分野の省エネルギー対策の推進

### 1. 住宅・建築物の省エネ基準の高度化

- ・エネルギーの使用の合理化に関する法律（昭和54年制定。以下「省エネ法」という。）の規定に基づき定められるいわゆる「省エネ基準」は、建築主に対し、同基準に基づく省エネ措置の努力義務を課すものであり、昭和55年に制定、平成4年に改正を行ってきた。
- ・しかしながら、先進諸国と比してその内容の緩やかさが指摘され、地球温暖化防止の観点からさらなる内容の強化が求められたことを背景として、平成7年度より、現行の省エネ基準より一層効果の高い基準（次世代省エネ基準）の検討を進め、平成11年3月30日に改正・強化を実施した。この改正によって、住宅における暖冷房用のエネルギー消費量について、約20%の削減を図ることとしている。
- ・建築（非住宅）分野の省エネ基準は、「建築主の判断基準」（建設大臣・通産大臣告示。断熱性等に関する性能型基準）であり、昭和55年に制定、平成5年に改正を行ったが、住宅分野と同様に、平成11年3月30日に改正・強化を行った。この改正によって、建築物（非住宅）におけるエネルギー消費量について、約10%の削減を図るものである。

### 2. 省エネルギー住宅・建築物に対する支援の充実

- ・従来より、省エネ基準に適合する住宅に対し、住宅金融公庫の割増融資制度（100万円／戸）を活用し、その整備促進を図ってきたところであり、平成9年度の実績で公庫融資住宅の約39%の住宅に対して適用されている。平成11年4月からは、これまでの優遇制度に加えて、次世代省エネ基準に適合する住宅に対して250万円／戸の割増融資を開始している。また、省エネ性能を含む一定の性能を持つ住宅に対して基準金利を適用している。
- ・平成5年度より、省エネルギー性能の高い建築物への省エネルギー型建築設備の導入等に対し、日本開発銀行等による低利融資を実施しているところであり、平成9年度からは、この低利融資制度を拡充し、既存建築物の省エネルギー性能向上のための建築設備の更新・改修等に対しても、融資の対象とした。
- ・さらに、一定の省エネルギー設備を取得し事業の用に供した場合の所得税等の優遇措置を講じているところである。

### 3. 消費者等に対する情報提供の推進

#### ① 住宅に関する性能表示制度の整備

- ・省エネルギー性能の高い住宅についての消費者等の選択を支援するため、省エネルギー等の住宅の性能について消費者にわかりやすい表示を行う新たな制度（住宅性能表示制度）の構築を行う必要があるとされてきた。平成11年6月には、住宅性能表示制度を主要事項のひとつとする「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が成立し、その施行に向け所要の整備を行っているところである。

#### ② 建築物に関する性能表示の推進

- ・省エネ法に基づく建築物の省エネ基準や、省エネ・リサイクル法に基づく「努力指針」を満たす建築物に対して、その省エネ性に応じた省エネルギーマークを付与し、建築物の差別化を図ることにより建築主の省エネルギーに対する意識の啓発を図る制度の構築を図ることが重要であり、平成11年3月より当制度を開始したところである。

## Ⅲ 省資源に資する建設副産物・リサイクル対策の推進

### 1. 建設業界における廃棄物対策の必要性

- ・我が国の産業廃棄物の排出量に占める建設廃棄物の割合は19%と全産業で最も多く、その再利用・減量化率は58%と、産業廃棄物平均の約80%に比較して相当低い現状にある。特に、個別散在的に行われることの多い建築工事は42%となっている（平成7年度）。
- ・我が国における廃棄物の最終処分場の残余容量は、新たな埋め立て処分場の建設を加味しても、このまま推移すれば、2008年で全国ベースでの容量がゼロになるとの算定がなされている。

### 2. 建設省における目標の設定

- ・建設省では、平成6年に環境政策大綱を定め、次いでリサイクルプラン21を定め、平成12年（2000年）を目標として建設廃棄物の処分量を半減させることを目標に掲げたところである。
- ・建設省内に設置された建設廃棄物対策推進会議は、リサイクルプラン21を見直し、平成9年10月「建設リサイクル推進計画'97」を策定した。本計画においては、将来的には建設廃棄物の最終処分量をゼロとすることを目指し、公共工事発注者が先導してリサイクルの推進に役割を果たすこととされている。
- ・解体工事から排出される建設混合廃棄物や建設発生木材のリサイクル率が依然として低迷していることに鑑み、「解体・リサイクル制度研究会」を設置し、平成10年10月に報告をまとめた。この報告では、解体段階に対応した必要な施策として、「施主によるコスト負担責務の明確化」「解体工事チェックシステムの整備」「建築物の分別解体の義務付け」等が必要とされ、法制度を含めた対応も検討すべきとしている。



### 3. 住宅・建築分野の廃棄物対策

- ・住宅を含む民間建築についての施策としては、住宅の長寿命化のため住宅金融公庫融資の基準金利適用要件における耐久性の共通要件化、建設混合廃棄物、建設発生木材のリサイクル法への適用等を行うこととしている。
- ・平成11年4月より、適正処理を行う解体工事について、住宅金融公庫融資の優遇措置を講じることにより、建築解体廃棄物の適正処理の促進を図っている。
- ・今後、重点的に検討を進める課題として、リサイクル建材の活用を促進する方策、適正な解体・リサイクル促進のための新たな仕組みづくり等があげられている。

## IV 住宅・建築業界等における環境対策の推進

### 1. 住宅生産団体連合会の動向

- ・経済団体連合会は、平成8年7月に21世紀へ向けた経済界の自主行動宣言として経団連アピールを採択・公表したほか、各経済団体に対し、この環境アピールに沿った産業毎の環境保全に向けた自主的行動計画を策定するよう要請した。
- ・経団連の要請を受け、(社)住宅生産団体連合会は、二酸化炭素の排出量の目標数値等を盛り込んだ住宅分野における環境対策の行動計画（「住宅産業の自主的環境行動計画」）策定し、平成10年6月に公表したところである。
- ・加えて、平成9年度からは、住宅に関連し環境対策の推進に資する普及啓発事業、調査研究活動、技術開発、緑化・美化活動を行う企業や団体に対し、住団連が助成する制度（「住宅関連環境行動等助成事業」）を創設した。

### 2. 環境マネジメントシステム（EMS）関係国際規格の制定とEMS研究会

- ・日本では、電気機械分野、一般機械分野等を中心とする産業においては、既に相当数の企業がISO14000シリーズの認証取得を行っているが、住宅・建築分野では、現在のところ、一部企業が取得しているに過ぎない。
- ・平成8年6月、環境マネジメントシステムの導入に関し、住宅・建築・開発分野における手引き書等の策定を進めるため、関連業界、学識経験者、行政からなる研究会（EMS研究会）が発足、平成10年3月に成果をとりまとめている。

## V その他

### 1. 環境共生住宅市街地モデル事業

- ・建設省は、地球温暖化防止等の地球規模の環境問題に配慮した「環境共生住宅」を普及するため、環境への負荷を低減する等一定の要件を満たすモデル性の高い住宅市街地の整備に対し「環境共生住宅市街地モデル事業」により補助を行っている。
- ・施工者；地方公共団体、住都公団、地域公団、住宅供給公社、民間事業者等
- ・補助対象；透水性舗装、雨水浸透施設、緑化公開空地、ごみ処理システム、水有効利用システム、太陽エネルギー利用システム、コージェネレーションシステム等の整備費等

### 2. 住宅室内の化学物質による健康への影響対策

- ・近年、住宅の気密性能の向上等を背景に、住宅に使用される内装材等から住宅室内に発散する化学物質によって、人の健康に影響があったとする事例が問題化している。
- ・平成8年7月、学識経験者、業界団体、関係省庁（建設省、通産省、厚生省、林野庁）等の参画により「健康住宅研究会」を設置し、住宅の室内空間で発生するホルムアルデヒド等の化学物質が人の健康に与える影響を低減する対策を検討してきたが、平成10年4月に、検討成果を「設計・施工ガイドライン」及び「ユーザーマニュアル」として策定・公表したところである。

# **Housing Construction in the 21st Century**

BOGAKI, Kazuaki

Dept. of Environment, Design and Fire

Building Research Institute, MOC

1 Tachihara, Tsukuba, Ibaraki

## **1. Introduction**

Housing in Japan is currently undergoing major changes. Improvements in thermal insulation and airtightness, for example, are just one aspect of this change. Of course, these improvements will contribute to achieving higher energy-savings and greater comfort. At the same time, types of housing which look much the same and lack in individuality have proliferated. Housing which emphasizes regional characteristics is now replacing highly uniform housing designs. People are demanding comfortable, healthy homes that address climatic factors and incorporate traditional building technologies.

## **2. A short 80-kilometer trip**

If we simply travel over a mountain, the people living on the other side may speak a different language(a dialect). And if we cross a river, the houses people live in may also change. When I was 13, I traveled by bicycle from my hometown in Himeji to Okayama. The trip was around 80 kilometers and took about four hours. However, the moment I crossed the Funasaka Pass, which marks the border between Hyogo and Okayama prefectures, I noticed that the language, scenery, and products were completely different. I was very surprised at the contrast. Even in Japan, there was a different world within traveling distance by bicycle.

Isn't it the same for housing? Climates and customs change on the other side of a mountain, so it is natural that housing construction methods will differ as well. Housing in Japan has been characterized by designs and construction methods unique to each region, reflecting local weather and climatic conditions as well as utilizing locally produced building materials. In the short time span of 30 to 40 years, however, this tradition has been all but eliminated and is in danger of becoming extinct.

Instead, housing that is the same in appearance and design has dominated the market. The recent proliferation of highly insulated and airtight housing is a typical reflection of this trend.

The Japan Housing Organization recently published a book entitled "Japan Climate Data Map". This book divides Japan into 100 climate zones based on the analysis of extensive climatic data, and describes architectural and construction methods that are most suited to each climate zone. Based on the criteria used in this book, the climatic zones of Hyogo Prefecture and Okayama Prefecture are classified as shown in Figure 1. It is clear that the climate zone changes as one crosses the prefectural border. Accordingly, both housing and produce are likely to change, reflecting the difference in climate.

### **3. Climatic and administrative zoning in Japan**

According to the above-mentioned "Japan Climate Data Map", Japan is broken down into 14 climate regions in which differences in climatic characteristics can be observed. These climate regions are summarized in Figure 2. Lines separating climatic regions and those separating administrative districts generally coincide.

Figure 3 shows the administrative zoning in the Nara Period (8th century). At that time, Japan was separated into eight administrative districts, with the capital of Nara at its center. The close match between these eight administrative districts and the 14 climatic regions described in "Japan Climate Data Map" is very interesting. Tohoku and Hokkaido, which were almost completely undeveloped in the Nara Period, were grouped together and called "Tosando." Because of this, their climatic differences were not accurately represented. However, administrative and climatic zoning in other regions remains quite consistent even now after 1,200 years have passed.

The administrative zoning brings together regions that share similar cultures, social customs, and topography. Indeed, these factors have a very close relationship with regional climates.

### **4. Housing structure and climatic zoning**

Even in Japan, which has a relatively small land area, there are numerous types of housing.

Figure 4 shows a breakdown of housing in Japan by building structure (based on "Ancestral Development of Housing (Farmhouses) in Japan's Edo Period", published by the Nara National Cultural Properties Research Institute, March 1985).

Judging from this classification, the distribution of various types of structures appears to closely reflect climatic and administrative zoning. In other words, housing reflects climatic factors and is closely related to culture, society, and administrative jurisdiction. In a way, the structure of housing is represented by floor plans. Overall designs, as well as the choice of materials used for roofs and walls, were influenced by local climates. It is clear that the shape of individual housing units differs greatly from region to region, reflecting even slight climatic differences.

## **5. Diversity of houses and their distribution**

The distribution of the main representative housing types in Japan is shown in Figure 5.

There are some housing types which are distributed widely throughout Japan, such as Chumon-style, Magariya, and Segai-style construction. Segai-style construction is particularly popular all over Japan and is known by a variety of names, depending on the region. It is not a specific construction method matching any particular climatic condition. Rather, it is perhaps better regarded as a generic construction method.

In contrast, other construction methods—such as the multistory houses in Tamugimata and Namako Walls in Minami-Izu, and the Gassho-style construction in Shirakawago—reflect the particular climatic conditions and social structure of specific regions, and there are some types of construction that are only found in a few regions. These various region-specific housing features are diverse, interesting, and beautiful. Housing that has been tempered by the climatic features of the region provides spectacular scenery.

Let's look at photographs of just a few examples of such housing. I have included photographs of houses from Germany's Bayern region. These large, multistory houses closely resemble those of Tamugimata and Shirakawago, and suggest that these regions have a similar climate and social fabric.

## **6. Housing in the era of global environmental concerns**

As we approach the new century, confronting an era of global environmental concerns, reduction of energy consumption and conservation of resources are crucial. Our undisciplined demand for comfort, relying on technologies and energy can no longer be tolerated.

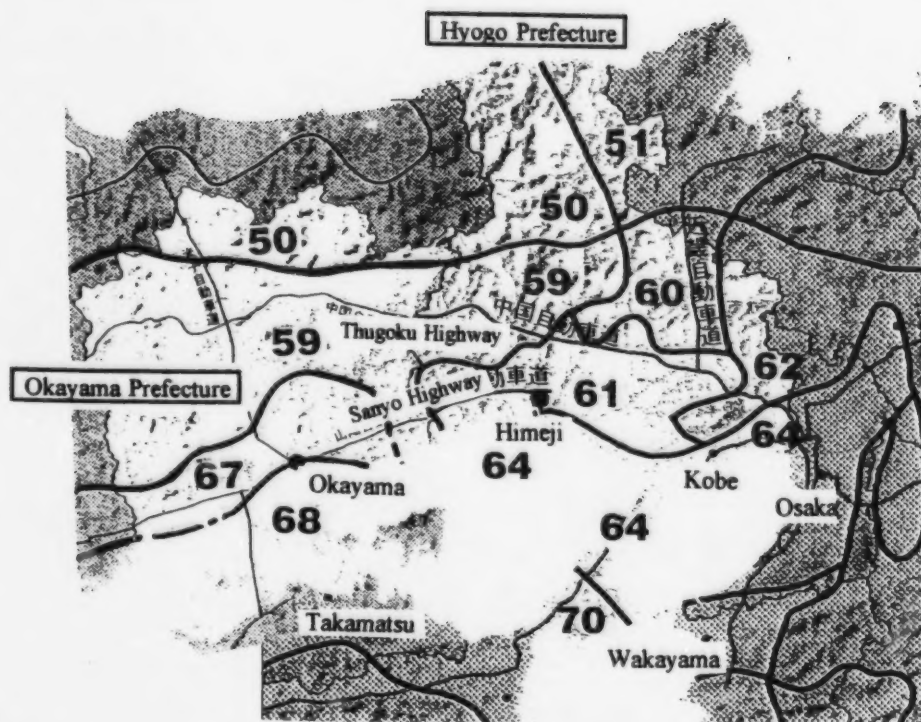
Now is the time that we should capitalize on housing construction technologies that have been developed over many years. While taking traditional technologies into consideration, we must create new technologies that match the climate and character of each region. The beautiful designs of traditional private housing were simply a response to harsh climatic conditions. Hidden within such beautiful forms and unique residential lifestyles are secrets to both energy and resource conservation and increased comfort. To this end, restoring regional character will play an extremely important role in housing in the era of global environmental concerns. I hope that the beautiful Japanese housing so passionately loved by numerous foreign architects will be brought back to life with the help of modern technologies.

This problem is not limited to Japan. Beautiful houses that suit the local climatic conditions of their region can be seen throughout the world. If there are some that are languishing because they are regarded as obsolete, we should make every effort to bring them back to life as well.

## **7. Conclusion**

As we approach the 21st century, we must seriously consider the health of the earth and our children. Effectively addressing this issue will first require a reassessment of ideal housing—where we spend our daily lives—while stressing its relationship with the climate and character of the region. In the meantime, we must build houses, and establish living patterns, which suit regional attributes.





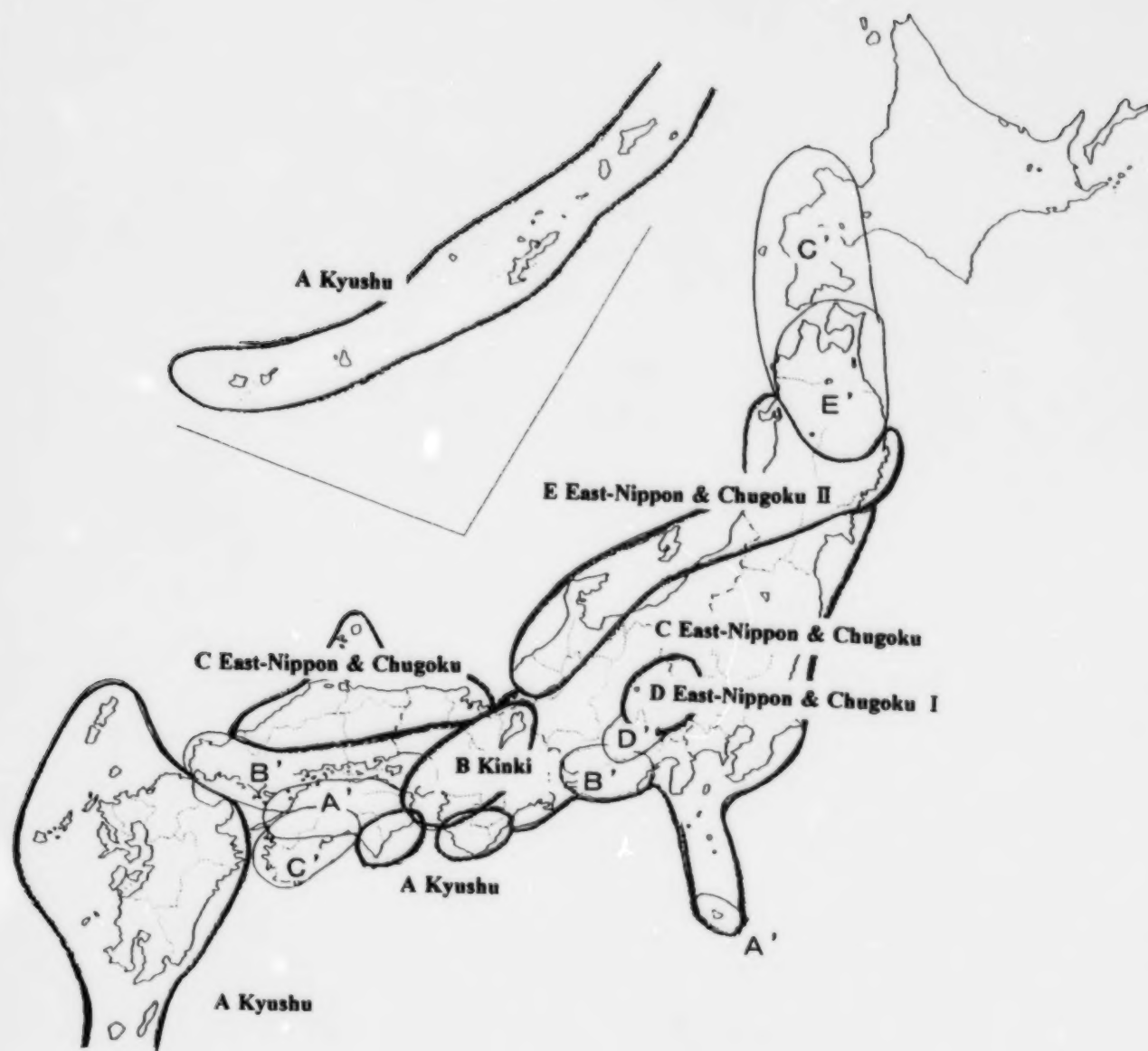
**Fig.1 Climate Zones of Hyogo Prefecture and Okayama Prefecture**



**Fig.2 14 Climate Regions in Japan by "Japan Climate Data Map"**



**Fig.3 Administrative Zoning in the Nara Period (8 century)**



**Fig.4 Distribution of Housing Sturacture in Japan**



**Fig.5 Traditional Housing Types and its Distribution in Japan**

## 21世紀の住まい造り

坊垣 和明  
第五研究部  
建設省建築研究所  
茨城県つくば市立原1

### 1. はじめに

日本の住まいは、今、大きく変わろうとしている。例えば、断熱性・気密性の向上も大きな変化の一つである。この変化が、省エネルギー性や快適性の向上に寄与することは言うまでもない。一方で、画一的で個性に乏しい住宅が蔓延する原因にもなっている。そんな個性のない住宅から、地域性を重視した住宅に変わろうとしている。気候風土に合い、伝統技術と融合した快適で健康な住まいが求められている。

### 2. 80kmの小旅行

われわれは、山一つ越えれば言葉が違い、川を隔てれば住まいが変わることを知っている。私が13才の時、郷里の姫路から岡山まで自転車で出かけたことがある。たかだか20里（とその頃の大人は言った）、80km、4時間の道のりである。しかし、兵庫県から岡山県への県境にある船坂峠を越えて岡山に入ったとたん、言葉と風景と産物が大きく異なることに気付いた。その違いは大きな驚きであった。同じ日本に、しかも、自転車で行ける距離の所に、こんなに違う世界があったのかと。

住まいも全く同様ではないか。山一つ越えれば気候が違い、習慣が異なり、住まいの作り方も違って当たり前である。その通りに、日本の住宅は、その地域の気候や風土、そして、その地域に産出する材料に合わせて、それぞれの地域に独特の形態や工法を培（つちか）ってきた。それが、ここ30～40年ばかりの間に、全く崩壊してしまった、あるいは、崩壊の危機に瀕している。

それに代わって、同じ顔・形をした住宅が蔓延している。最近の、高断熱・高気密住宅は正にその典型ではないか。

最近、(財)住宅産業研修財団から「データマップ 日本の気候」が発行された。この本は、膨大な気候データを整理して全国を100の気候ゾーンに分類し、各気候ゾーンに適合する建築的手法を整理したものである。この気候区分によれば、兵庫県と岡山県の気候ゾーンは、図1のように区分されている。明らかに県境で気候ゾーンが変わっているのである。この気候の違いに合うように、住宅や産物が異なるのは当然である。

### 3. 日本の気候区分と行政区分

前出の「データマップ 日本の気候」では、全国の気候特性が概観できるように14の気候区域が設定されている。図2は、その区分を示したものである。気候を区分する線と県境などの行政区分線が概ね一致していることが分かる。

図3には、奈良時代（8世紀）の行政区分を示した。当時は、畿内を行政の中心地として、全国を8つの地域に区分されていた。この8つの地域区分とデータマップの14の気



候地域区分がよく一致しているのは興味深い。もちろん、奈良時代にはほとんど未開の地域であった東北・北海道が「東山道」にひとまとめになっている点は気候区分と異なるが、それ以外の地域では行政区分と気候区分が、1200年以上の時代を経てもなお、よく一致している。

行政区分が、文化や社会慣習、地形などの共通する地域を単位とするものであり、それが地域の気候と深く関わっていることがわかる。

#### 4. 住宅の構造と気候区分

さほど広くない日本の国内であっても、住宅のいわゆる民家の種類は多い。

図4は、民家の構造の分布を示したものである。（「日本における近世民家（農家）の系統的発展」、奈良国立文化財研究所学報第四十三冊、昭和60年3月、による）

この構造の分布においても、気候区分や行政区分と一致する部分が多いことが分かる。住宅もまた、気候の影響を受け、文化や社会、行政の範囲と密接に関連しているのである。ここでいう構造は、間取りの形態のことである。したがって、住宅全体の形や屋根・壁の材料などにはもっと色濃く気候が影響しているであろう。気候の微妙な違いを反映して、住宅の形にはより大きな地域差が存在するに違いない。

#### 5. 様々な民家とその分布

わが国の代表的な民家の分布を図5に示した。

中門造りや曲り屋、せがい造りなどのようにかなり広い範囲に分布している造り方もある。せがい造りは極めて広く分布し、地域によって様々な呼び名を持っている。むしろ地域の気候風土に合致した固有の造り方というのではなく、一般的な構法と言った方がいいのかもしれない。

反面、田舎俣の多層民家、南伊豆のなまこ壁、白川郷の合掌造り、などのようにその地域に特有の気候や社会構造に合うように出来ていて、限られた地域にのみ見られる造り方もある。この様な地域ごとの民家の特徴は様々で、興味深く、かつ、美しい。地域の気候風土に鍛えられた民家は、美しい景観を醸しだし見事である。

ごく一部の民家を写真で紹介しておこう。

ドイツのバイエルン地方の民家の写真も含めた。この大規模な多層民家は、田舎俣や白川郷の多層民家とよく似て、気候や社会構造の共通性を伺わせる。

#### 6. 地球環境時代の住まい

われわれは、今、新しい世紀を目前にして、地球環境の時代に直面している。資源やエネルギーの節減が必須である。技術とエネルギーに頼って、無秩序に快適な環境を求めることはもはや許されない時代に至ったと考えるべきである。

いまこそ、わが国が長年にわたって培ってきた住まい造りの技術が活かされるべきである。伝統的な技術を参考にしながら、その地の気候や風土に合った新しい技術が創造されなければならない。伝統的な民家の持つ美しい形態は、その地の厳しい気候への対応の結果に他ならない。その美しい形態と暮らしの中にこそ、資源やエネルギーの節減と快適さの両立の秘訣が隠されていると思われるのである。その意味で、地域性の復活が地球環境

力を注ぎたいものである。

## 7. 結語

21世紀を間近に控え、地球や子孫の健康のことを真剣に考えなければならない時に至っている。この難問に对应していくためにも、まず、われわれは日常の生活の器である住まいのあり方を、気候や風土との関係に重点を置いて見直さなければならないであろう。その上で、地域に合った住まいを作り、暮らしを築き上げていく必要がある。

## 参考文献

- 1) 「データマップ 日本の気候」、(財)住宅産業研修財団、平成10年
- 2) 「日本における近世民家(農家)の系統的発展」、奈良国立文化財研究所学報第四十三冊、昭和60年3月

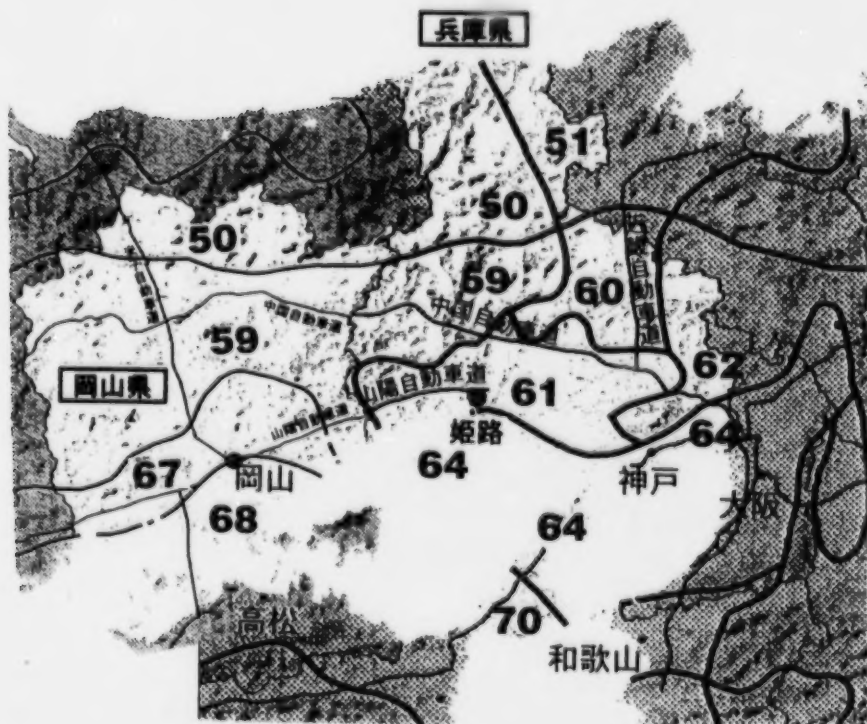


図1 兵庫県と岡山県の気候ゾーン  
(「データマップ 日本の気候」による)



図2 「データマップ 日本の気候」による14の地域区分



図3 奈良時代（8世紀）の行政区分

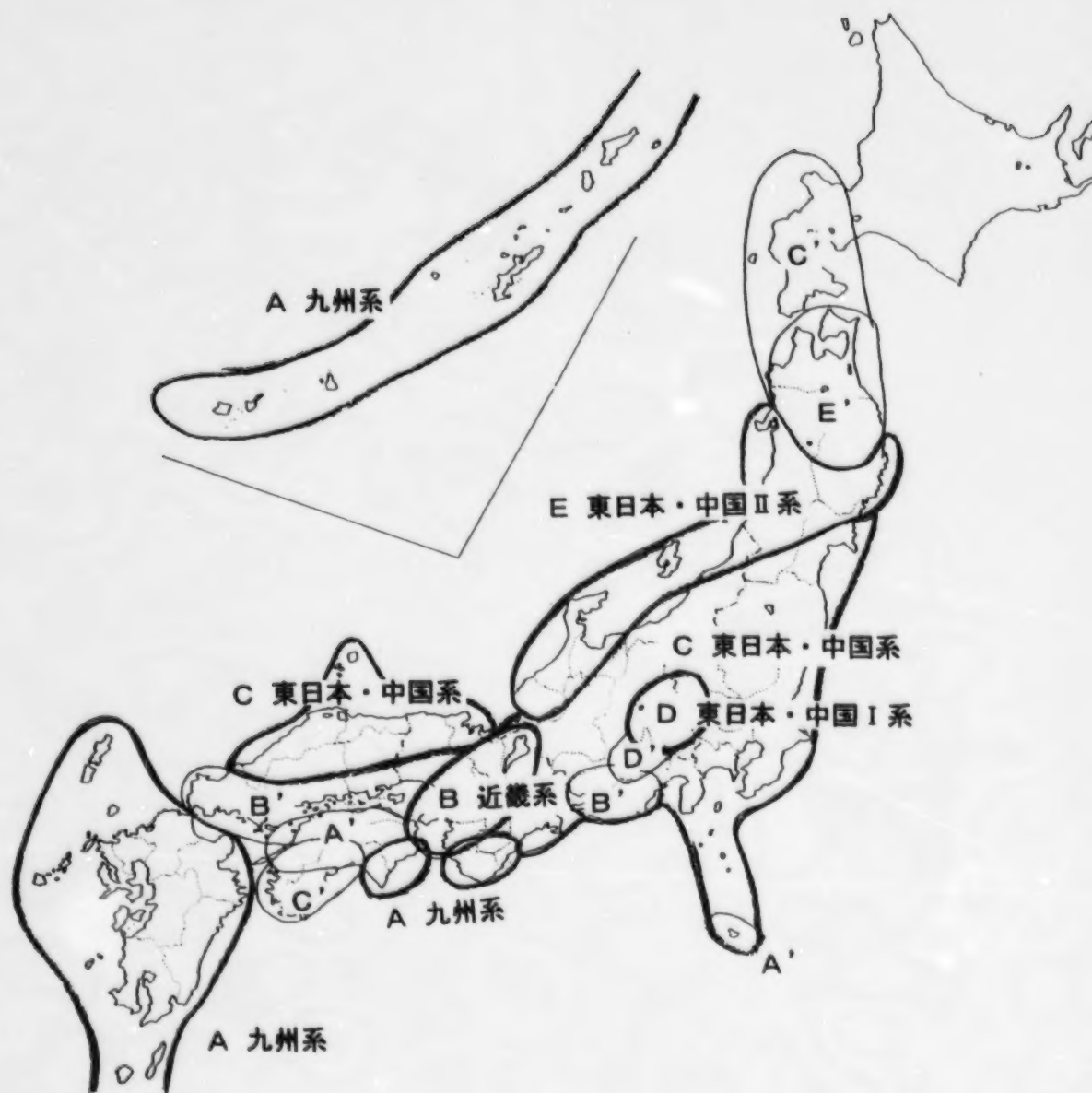


図4 民家の構法の分布



図5 伝統的な民家とその分布



**Canada-Japan Housing R&D Workshop:  
A Retrospective of Accomplishments from 1993-1999**

Robin Sinha, Program Manager  
Buildings Group/CANMET Energy Technology Center, Natural Resources Canada

**1. Introduction**

The Canada-Japan Housing Research and Development Workshop is a bilateral forum between Canada and Japan the purpose of which is to share and exchange recent advances in the field of housing research and technology development. The workshops have provided a venue for researchers and private sector from both countries to exchange issues and suggest solutions to the improvement in the construction, quality and performance of housing. The results of this work are not only for the benefit of those who live in houses; but also to develop solutions in a manner that supports energy efficient and sustainable development principles in order to reduce the overall impact of housing on the environment.

The first workshop was held in Whistler, B.C. in 1993, subsequent workshops were held in Tsukuba Science City in 1994(5), Ottawa in 1996, Sapporo in 1997 and, this year, Charlottetown. Since the early beginnings in 1993 the subject matter evolved, and participation and interest in these forums has grown. Not only has the size of the workshop increased in the past 6 years, the scope and importance of its work has increased as well.

On the occasion of the fifth workshop now being held in Charlottetown, PEI it is timely to make an assessment of accomplishments and look ahead to challenges. This paper will propose further directions for collaborative research by assessing what has been presented to date and arranging this work to form conceptual building blocks, which begin with a foundation of information and questions, and progress to greater heights and more intricate questions.

From the initial workshop common themes emerged that were of mutual interest to Canadian and Japanese researchers and private sector. The major issues presented at the first workshop set a blueprint for work to follow. In each of these thematic areas, subsequent workshops brought forward new information and prompted new research directions.

The major issues, which have emerged from discussions at these workshops, fall under three major categories:

- Heat, Air and Moisture Design and Performance of Building Envelopes
- Heating, Cooling and Ventilation Design and Performance
- Indoor Environmental Design and Performance

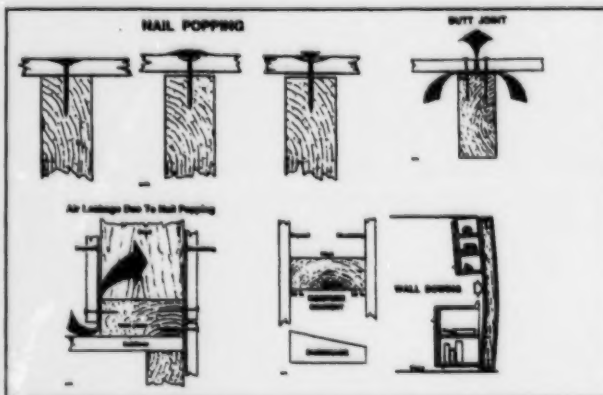
These three themes, together with the input from industry pioneers who have used or developed technology solutions in applications such R-2000, Advanced and Healthy Housing, have provided the building blocks for the development and evolution of standards and guidelines for energy efficient and environmentally responsible housing we have in place today in both Japan and Canada.

## 2. Heat, Air and Moisture Design and Performance of Building Envelopes

The primary function of the building envelope is to isolate the indoor environment from the outdoor environment, and to do this practically and economically. Achieving these goals while satisfying energy efficiency targets and durability issues for climates from extreme cold of Canada's arctic region to the hot humid regions of Japan's Kyushu island has dominated discussions over the course of previous workshops.

While the basic mechanisms for heat, air and moisture transport are well understood, the behavior of different materials to these driving forces together with the variations in building practices and climate create a complex framework of interactions and responses of walls systems to heat, air and moisture transfer. Experience has shown that to successfully design and construct a durable, energy efficient wood frame wall the issue of moisture transport must be effectively addressed. This moisture behavior and thus the thermal performance of the wall are both influenced by and in turn influence the heat and air transfer characteristics of the building envelope.

- Shrinkage of lumber as wet wood dries leads to drywall cracking and nail popping which results in the development of leakage paths
- Moisture problems can result if these paths are not blocked. Potential for condensation in wall cavities increases
- Seasonal variations in moisture content of studs can lead to bowing of walls



*Figure 1: Effect of Shrinkage of Lumber on Airtightness, Wall Moisture Research In Canada, Donald M. Onysko, Canada-Japan Workshop I, pp109 - 120*

The variations in climate, material properties, walls systems and building practice require a systems approach to accurately predict the behavior of various walls systems. The workshops have provided rich forum for sharing in the development of simulations tools and experimental results. This knowledge has helped us to understand the relationships and predict the impacts of changes in different parameters such as airtightness, insulation, material permeance, indoor humidity and convective air flow (i.e. vented cavities and rainscreens) on the performance of building envelopes.

One of the cornerstones of energy efficiency has been improving the airtightness of building envelopes. While the energy benefits of airtightness may seem obvious in colder climates, airtightness offers additional benefits of reducing moisture accumulation in walls. More airtight envelopes reduce the potential accumulation of moisture due to exfiltration. Further as relative humidity of the indoor environment rises - due to poorly ventilated or conditioned airtight

houses, certain lifestyles or certain times of the year - airtight house are less likely to accumulate moisture in the walls compared to leakier houses. Finally, moderately airtight houses may in fact perform worse than leakier houses as the drying and warming effect of exfiltration is reduced and the dewpoint plane moves into the wall cavity. It is clear from the evidence that the safest approach for the builder to avoid long term moisture problems, given all the variables, is to adopt highly airtight building practices.

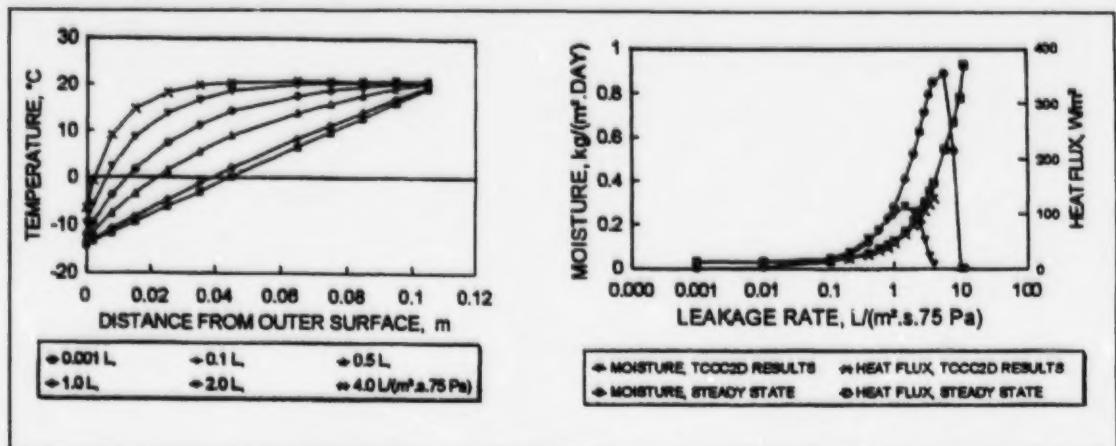


Figure 2: Influence of Air Leakage and Indoor Relative Humidity on Moisture Accumulation, Effect of exfiltration on the hygrothermal behaviour of a residential wall assembly: results from calculations and computer simulations, Kumar Kumaran, NRC , Tuomo Ojanen, VTT, Canada-Japan Workshop III, pp 39-46.

Air tight membranes within wall cavities are also essential in the design of effective rainscreens which help reduce the penetration of bulk moisture from rain. The rainscreen principle relies on effective pressure equalization of an air cavity behind exterior cladding and assumes an airtight wall system with the airtight membrane ideally located at the wall sheathing plane. (*Rainscreen Computer Program*, Jacques Rousseau, Canada-Japan Workshop IV, pp 88-93).

Laboratory tests conducted at the Hokkaido Cold Region Housing and Urban Research Institute further reinforced the benefits an air cavity behind the exterior cladding as successfully reducing the pressure differential across the exterior cladding and significantly contributing to reducing the penetration of wind driven rain into the wall cavity.

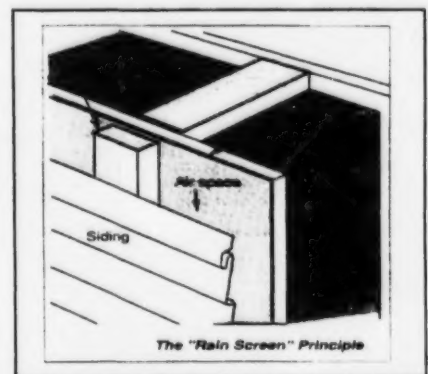


Figure 3: Rainscreen Air Cavity Design Detail, CHBA Builders Manual

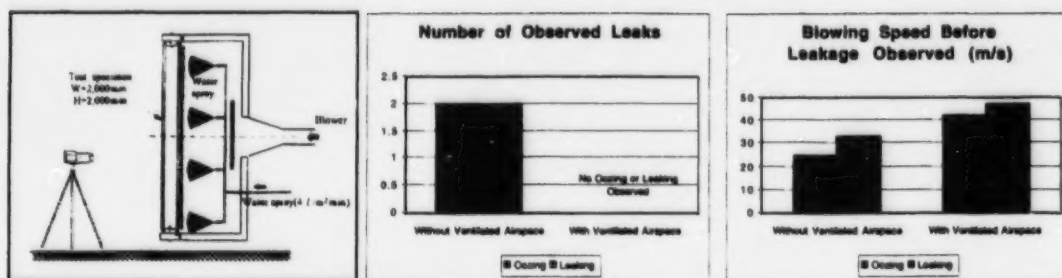


Figure 4: The Study on the Performance of Exterior Vented Cavity Walls in a Cold Region, Hirotaka Suzuki, Akira Fukushima, Canada-Japan Workshop III, pp 229-234.

The benefits of a ventilated cavity behind the exterior cladding has also been the focus of a number of studies related to the design of more moisture resistant building envelope systems for hot humid climates. Unlike in colder climates, heat, air and moisture transport in hot humid climates occurs in both directions presenting additional challenges for the placement of air and vapour/moisture barriers. Results have highlighted the importance of proper selection of moisture barriers for both inside and outside membranes as well as the importance of a ventilation air cavity behind the exterior cladding.

While there appears to be agreement that some moisture accumulation can be tolerated and is probably inevitable, within wall cavities the goal is to design systems that can quickly dry out to the inside or outside. The danger that occurs when high levels of moisture remain for long periods of time within the cavity is that this can lead to mold and rot. While definitive threshold values for duration and magnitude of moisture accumulation are not well established, the cumulative time that relative humidity remains above either 80% or 90% (cumulative ratio) at a particular surface has been used in simulation and test hut work at Fukuoka University to compare the relative performance of wall systems in hot humid climates.

Figure 5 demonstrates the dilemma and challenge of moisture proofing in hot humid climates. As the permeance of the interior layer is reduced relative to the exterior layer condensation increases on the exterior layer in winter and reduces on the interior layer in summer. As the relative permeance of the interior layer is increased relative to the exterior layer, winter condensation is reduced on the exterior layer (typical cold climate construction) but summer condensation on the interior layer is increased. Based on the work at Fukuoka University there are indications that there one must balance winter and summer condensation by choosing systems that minimize condensation in each of these seasons and that a ventilated cavity is essential to reduce condensation with walls. Analysis suggests together with a ventilated cavity, the optimal winter and summer performance one should select moisture barriers on the interior and exterior such that the interior moisture resistance is about 1/2 or less than the resistance of the exterior moisture barrier (see 1:2 series in Figure 5). The cumulative ratio >80% occurs for less than 20% of the time in winter and summer in Fukuoka using this ventilated cavity design detail. No reasonable interior to exterior moisture barrier ratio guideline could be recommended for the non-ventilated case.





The research to date has helped reinforce key concepts including:

- Air tightness reduces moisture accumulation in walls in winter due to exfiltration
- Air tight walls reduce moisture accumulation when relative humidity increases indoors
- Airtight walls - when the membrane is on exterior - contributes to the rainscreen principle and is essential to reduce bulk moisture penetration from driving rain.
- Wall cavities can tolerate some storage of moisture so long as the duration and magnitude is not extensive.
- Vented cavities reduce moisture accumulation in both winter and summer in cold and hot humid climates
- The relative ratio of permeance of exterior and interior layers needs to be carefully considered to ensure adequate moisture dewproofing of wall cavities.
- Insulation on exterior dramatically reduces condensation inside walls in winter by moving the dew point plane outside wall cavity in winter. This has potential applications even in hot humid climates.

The challenges ahead in order to develop proper design guidelines for wood frame wall systems will need to focus on:

- Further refine computer simulation tools and validate these tools through laboratory experiments and field testing
- Use well-developed computer simulations to extend understanding of moisture performance of different wall systems for the range of climates and conditions that wood frame construction can potentially be exposed to.
- Develop a better understanding of the behavior of materials to changes in moisture content
- Develop guidelines to determine how long and what magnitude of moisture materials can withstand before irreversible mould or decay begins to occur – and use these thresholds to help set suitable guidelines.

### **3. Ventilation Design and Performance**

There has been general consensus among Canadian and Japanese researchers of the importance of ventilation in housing, especially airtight housing. There has also been general consensus that fresh air needs to be well distributed throughout the house especially to bedrooms; and sources of pollution within the house (i.e. moisture, cooking odours) needs to be removed or exhausted at the source. While a fully distributed, balanced supply and exhaust mechanical ventilation system with ducts providing fresh air to each and every room can address many of the functional features that a ventilation system should provide; costs of equipment, installation, operation and maintenance of these types of systems have traditionally limited the penetration of this approach to ventilation. Significant research and field evaluation has been invested in analyzing alternative simplified ventilation systems including passive ventilation systems. The research work that has been tabled over the course of the past workshops has covered design and performance issues which address the full spectrum of ventilation solutions from fully ducted mechanical systems to purely passive ventilation systems - all designed to try and address one or more of the barriers of an idealized system while providing comparable levels of fresh air.



One of the most significant barriers to the introduction of mechanical ventilation systems has been the cost associated with distribution of fresh air to rooms. Builders and designers have attempted to develop alternative design approaches to simplify both the supply and exhaust ducting in an effort to reduce costs. While some of these strategies can reduce capital costs, this is often accomplished at the expense of high fan energy costs and/or poor ventilation effectiveness (a measure of the distribution of fresh air to all rooms).

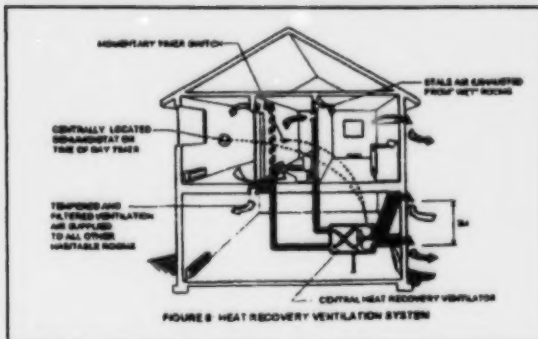


Figure 7: *Ventilation Practices in Low Rise Residential Construction in Canada*, C. Mattock, K Ito, Y. Murata, *Canada-Japan Workshop III*, pp 175-179

Collaborative research work between NRC and BRI, which emerged from the first workshop, has focussed on trying to develop a fuller understanding of the relationship and performance of different ventilation systems as a function of various factors such as stack effect, wind effect, airtightness, indoor partitions, air leakage distribution, energy use and thermal comfort. The relationships are complex stimulating the construction of sophisticated 2 storey houses as research facilities at NRC and BRI to allow detailed examination of these parameters (*Ventilation and Indoor Air Quality Research for Houses*, C.Y Shaw, J.T Reardon, J.S Zhang, *Canada-Japan Workshop II*, pp 24-37; *New Experimental Facility for studies on Airtightness and Appropriate Ventilation System of Houses*, K. Bohgaki, T. Sawachi, *Canada-Japan Workshop I*, pp 211-218).

To date the collaborative research work of BRI Cylinder House and NRC Ventilation Research facility have already provided insights on how stack effect, airtightness, the amount of free openings between rooms (i.e. size of door undercut) and distribution strategies can affect the effectiveness of fresh air supply to different rooms. Figure 8 shows the results of experiments using an exhaust fan to draw fresh air through the envelope (a commonly accepted simple ventilation system). The data shows that:

- the amount of fresh air delivered to downstairs and upstairs rooms was less susceptible to the effects of temperature difference in more airtight houses.
- as houses become leakier for a given temperature difference, fresh air to lower portions of the house increase (over ventilation) which has the potential to cause drafts and increases energy consumption.
- as houses become leakier and temperature differences increase, fresh air to upstairs bedrooms is reduced as buoyancy effects push excess fresh air upstairs negating infiltration of fresh air in upper portions of the house and increasing higher levels of pollution from occupant CO<sub>2</sub> and material emissions.

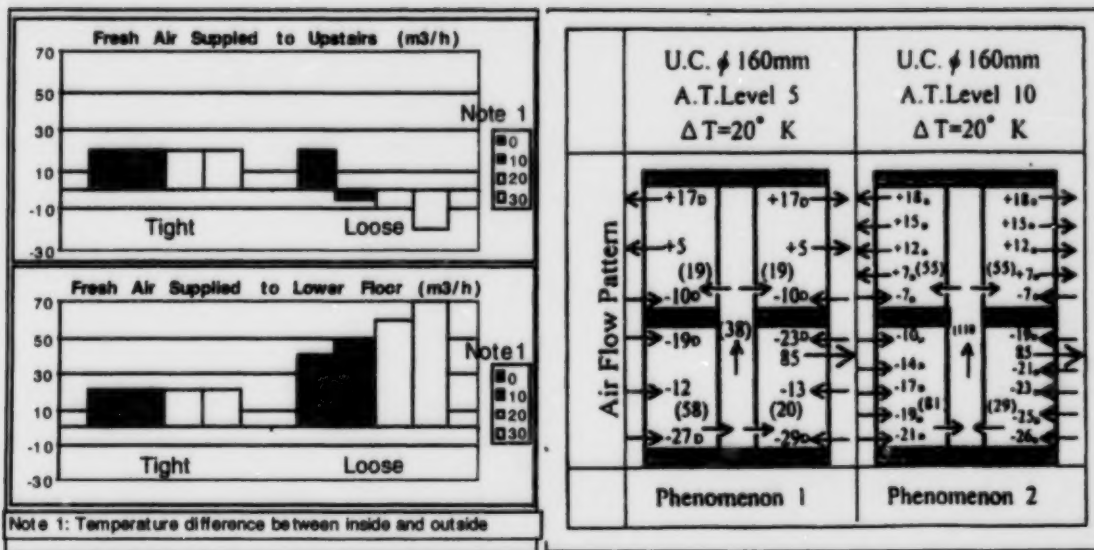


Figure 8: Framework for Evaluating Domestic Ventilation System: Case Study of Exhaust only Central Ventilation System, T. Sawachi, Canada-Japan Workshop II, pp 38-48

The ventilation research facilities and the analytical work to date have now reached the point that more complex ventilation systems are now being evaluated and compared. Initial analysis suggests that but the most promising is a minimal ducted supply system (see System E in Figure 9). The strategy uses a central supply fan with small diameter ducts to provide fresh air to each room or zone in the house. This can be set up as a balanced system using a typical kitchen or bathroom fan for the exhaust.

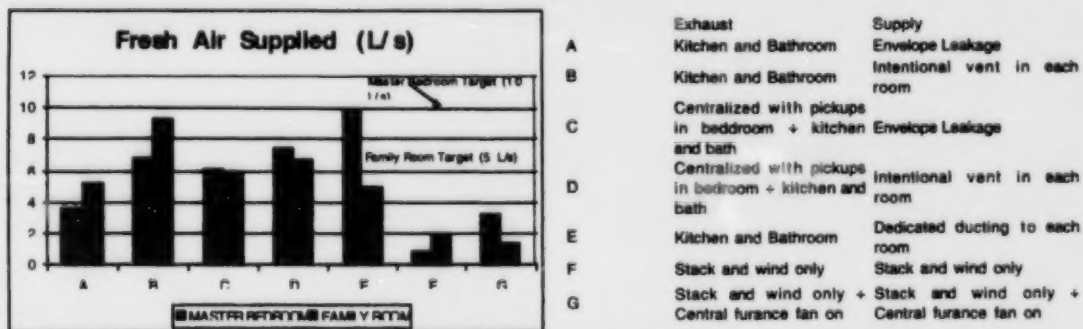


Figure 9: Evaluation of Five Simple Ventilation Systems Suitable for Houses without Forced Air Heating. J.T Reardon, C.Y. Shaw, Canada-Japan Workshop III, pp 105-110

Despite the strong advantages of mechanical ventilation, there is still a strong desire in both Canada and Japan to try and utilize the natural driving forces of wind and temperature difference to provide fresh air to houses - in particular to reduce the reliance on fans to supply and distribute fresh air. Research work in Hokkaido has demonstrated the potential for well designed passive ventilation systems to provide sufficient tempered fresh air and reasonable distribution in winter. In spring and fall or in more moderate climates passive systems still needs to be augmented with mechanical systems. The challenges of distribution of this fresh air especially in platform frame construction also demands further work. Issues of variability in wind and density of neighbouring buildings also needs to be considered in addition to the other factors of cost, comfort, ease of use, etc. that need to be considered in order to compare equally alternative ventilation systems.

More recently ventilation alternatives in Canada have been exploring the concept of demand control ventilation which takes advantage of natural infiltration through the envelope and augments this with mechanical ventilation as required. Research continues to explore which sensor or combination of sensors are the best surrogate for poor indoor air quality or unacceptably low levels of infiltration (*Opportunities for Demand Control Ventilation, Ken Cooper, Canada-Japan Workshop III, pp 154-158*). Indoor air quality sensors such a RH sensors, occupancy sensors and temperature differential sensors have been explored in the past but more work is required to improve reliability and develop a better understanding of the relationships between airtightness, infiltration, and pollutant sources.

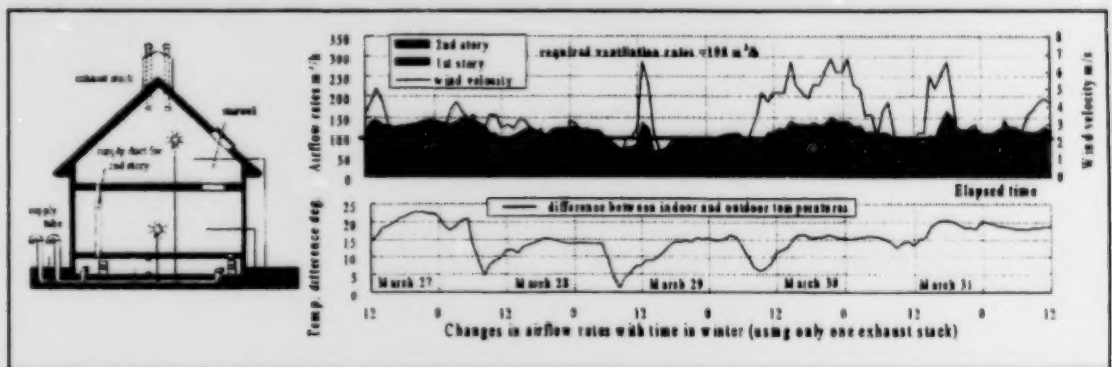


Figure 10: Feasibility of a Passive Ventilation System for Detached Houses in a Cold Region, Masamichi Enai, *Canada-Japan Workshop IV, pp II-7 - 12*.

Despite the appeal of low cost exhaust fan strategies, in colder climates at least, it is becoming evident that some form of distributed supply, balanced with the exhaust is the most reliable way to achieve maximum effective supply of fresh air to critical rooms such as upstairs bedrooms. In warmer climates exhaust only systems can be effective when used with high levels of airtightness.

As with cold climates comfort, energy costs for conditioning hot, humid air, filtration of outdoor air and interaction with other air moving devices, combustion equipment (fireplaces, wood stoves) and operable windows also need to be considered in the overall evaluation of these types of system.

The research to date has helped reinforce key concepts including:

- air tightness is essential to control variation in ventilation due to stack and wind effect.
- air tightness allows for optimization of passive ventilation or mechanical ventilation design providing more predictable performance
- properly designed passive system can provide adequate capacity but distribution strategies need to be addressed
- passive ventilation systems offer the potential to reduce operating costs of fans - assuming control of buoyancy and tempering of the fresh air to avoid drafts can be done efficiently.
- passive and exhaust systems can inadvertently be defeated by homeowners (window openings)
- passive and exhaust only systems may not be compatible with combustion appliances (wood burning fireplaces/wood stoves or other devices that periodically exhaust air from the house unless all systems are integrated effectively).

Clearly a challenge ahead will focus on:

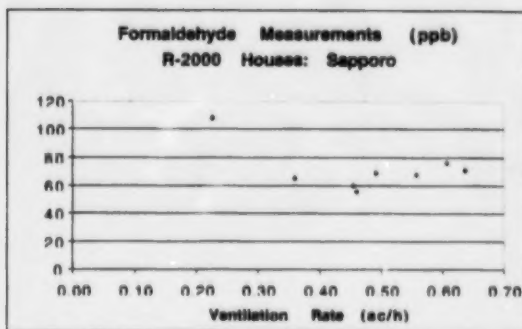
- maximizing the potential of both passive and mechanical ventilation systems.
- addressing fan energy costs associated with the distribution of fresh air when using mechanical systems.
- determining the role of demand control strategies such as IAQ sensors, occupancy sensors, and differential temperature controllers to optimize passive and mechanical systems.
- developing suitable indices of performance that allow ventilation systems to be compared on an equal basis taking into consideration comfort, energy costs, capital cost, installation, ease of use and maintenance issues.
- to demonstrate to the marketplace and to the industry the value of proper ventilation in houses and establish ventilation systems as an integral part of house design rather than an optional add-on component.

The tools and facilities now exist to effectively address these challenges and examine and compare equally alternative systems - and provide concrete guidance on the most appropriate systems.

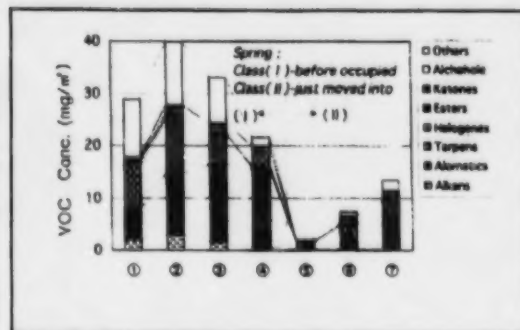
#### **4. Indoor Environment**

Over the course of the last 6 years the issues related to indoor environment have evolved from issues related to comfort and relative humidity problems in airtight houses to more complex issues associated with the emission of volatile organic compounds (VOC's) from the vast range of synthetic materials commonly used in the construction of housing. The issues are of international interest and Canada and Japan are on the forefront of efforts to develop standards for materials testing and design guidelines to reduce the impacts of materials emission on the indoor environment.

A number of field studies both in Canada and Japan have provided benchmarks for current levels of VOC's in housing. While ventilation has significantly contributed to helping to dilute critical VOC's, especially in airtight houses, not all houses utilize ventilation. The potential for high levels of pollution in many of these houses represents a significant concern for the building community.



*Figure 11: Effects of Highly Air-tight Houses on Human Health, K. Ikeda, Canada-Japan Workshop I, pp 189-200*



*Figure 12: VOC Measurements in Japanese Apartment Houses, K. Ikeda, M Hori, Canada-Japan Workshop pp IV - IV-7 - 12*

Through Canada's R-2000 and Advanced Housing Program, a number of "healthier" materials have been identified that can contribute to reduced emissions of VOC's and improved indoor air quality. Similar activities are underway in Japan. Unfortunately the database of available materials is still quite limited.

There is also no true agreement on standards to test and rate materials although the building blocks for such standards are well developed. Agreement on such procedures is considered critical in order to create the necessary labelling or rating system for consumers to be able to demand these "healthier materials". Such labelling systems will also help to create the necessary response from industry to provide "healthier" materials.

TVOC	500 ug/m <sup>2</sup> -h
Styrene	400 ug/m <sup>2</sup> -h
4-PC	100 ug/m <sup>2</sup> -h
HCHO	50 ug/m <sup>2</sup> -h

*Figure 13: Carpet and Rug Institute Voluntary Emission Requirements*

Currently, the Carpet and Rug Institute (CRI) has established some voluntary emission requirements for labelling of carpet products. Other industry associations such as the wood products sector and paint sector for example are also beginning develop labelling systems to identify products with lower VOC emissions.

Studies under Canada's Advanced houses highlighted the significant variation variability in emissions of apparently similar materials as well as the range of typical materials used in houses that contribute to emission materials. These materials were taken from actual construction sites during or shortly after the installation or application of the material. Most notably are the results observed in carpet measurements which show a 15 000 times variation in emissions. While only two of the seven samples exhibited emissions characteristics at these levels (the remainder were under 1000 ug/m<sup>2</sup>-h), the worked raised two issues:

- are the results of all material tests representative of the realistic range of emissions for products
- what is the degree of contamination of products selected from construction sites as a result of absorption of pollutants from construction practices on site.



## TVOC Emission Factors

	No. of Samples	Max ug/m2-h	Min ug/m2-h	Avg ug/m2-h
Carpet	7	56223	18	14896
Vinyl Flooring	5	9408	948	3425
Particleboard with Coatings	1	-	-	114
Composite Wood Product Assemblies	4	1378	459	737
Low Emitting Paint @ 120 hour	2	42	9	26
Conventional Paint @ 120 hour	2	308	243	276
Cellular Plastic Insulation	2	68	45	57
Structural Composite Wood Products	3	386	55	228
Interior Plywood (coated)	1	-	-	170
Carpet Underpad	2	856	33	445
MDF with Coatings	4	835	57	340
General Interior Finishing Materials	4	479	21	219

*Figure 14: Development of a VOC Emissions Database for Building Materials, D. Figley, J Makohon, R. Dumont, T. Mayo, Canada- Japan Workshop III, pp 315 - 321*

For context, the Nordic countries have established low (40 ug/m2-h) and medium (100 ug/m2-h) guidelines for general material emissions classes (MEC) based on ventilation rates require to achieve a certain levels of Indoor Air Quality. Most of the materials tested ranged through the MEC classes suggesting all industries are capable of providing healthier products but all could benefit from research to reduce emissions from building materials.

The task of cataloguing existing and new materials for their VOC or emissions characteristics is enormous. Such a database will undoubtedly require years of work from many contributors, and will only be successful if based on a common methodology for testing materials. Canada and Japan can lead the way in establishing and applying such methodologies.

While materials emissions are a critical area of continued research, the interaction of the occupants and the pollutants they produce as a result of their activities - both material emissions related and biological - also need to be examined. The effects of moisture and mould on health, CO<sub>2</sub>, dust, combustion by-products from gas generating cooking and heating devices and dust mites are other examples of the diversity in pollutants challenges facing researchers and homeowners. Ventilation is a critical element in the solution but real "healthy" indoor environmental solutions will depend on both understanding the source and severity of the problem; and controlling or eliminating these pollutant sources.

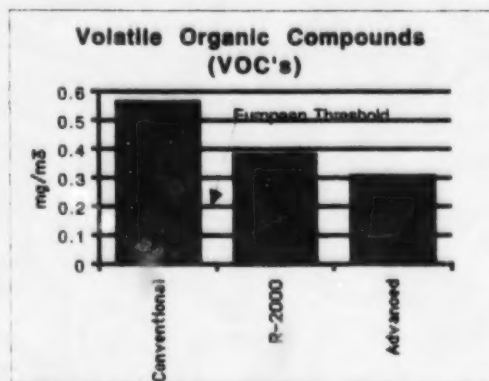
Research studies presented at the workshops have reinforced the following key concepts:

- the growth in the use of synthetic materials, glues and adhesives in building materials can significantly affect indoor air quality. Diluting these pollutants with ventilation alone is not a solution.
- there exists a wide variation in emission from similar materials. The number of materials that contribute to VOC levels in houses is large.
- occupants (furniture, cleaning supplies, hobbies) also contribute to VOC levels in houses.
- other pollutant sources are equally important to occupant health including moisture, mould, dust mites and by-products of combustion appliances.

The work and challenges ahead include:

- developing agreed upon test standards to evaluate emissions from materials
- document linkages of pollutants to health effects to create demand for better products
- develop predictive tools to help estimate maximum amounts of synthetic materials allowable in a house – similar to an energy budget
- developing a suitable labelling system to encourage manufacturers to develop and offer healthier materials.

While tools and facilities exist to begin to address many of the challenges, this area of work demands significant investment in resources and strong cooperation from industry to successfully achieve these solutions. Significant work to demonstrate the adverse health effects of poor indoor air quality and education of consumers is also needed to create the necessary demand for healthier materials.



*Figure 15: Monitoring Results from Advanced Houses, Canada-Japan Workshop III, pp 375-380*

## 5. Conclusions

The research presented over the last six years continues to help define existing building research priorities and also new research directions. The workshops have provided a rich forum for exchange and sharing of knowledge of mutual interest to both countries. The subjects discussed at these workshops are the critical building blocks necessary to advance energy efficient and environmentally responsible housing in both countries. These subjects are complex, and as has been demonstrated in the past - no single organization or country can solve these problems in isolation. It will take an international effort to achieve these solutions and Canada and Japan can lead the way in these fields.

While research must continue to refine ideas and solutions, it is now critical to move some of these ideas and solutions into the marketplace - to provide the building community with practical design techniques and options that can be incorporated cost effectively into housing. Innovators in the building community - those who have been champions for R-2000, Advanced Houses, and Healthy Housing Concepts represent a critical community to foster in order to obtain the feedback required and establish the confidence in the marketplace for these new solutions. A continuing infrastructure is required to engage industry in the research and development of cost effective and practical design and construction techniques to enhance the durability and performance of buildings. These workshops have provided one of the cornerstones of that infrastructure.



construction techniques that will lead to reliable and cost effective buildings that are capable of providing high performance, comfort and durability to homeowners for many generations.

## **6. References**

1. Canada-Japan R&D Workshop Proceedings I, Whistler B.C, Canada, 1993
2. Canada-Japan R&D Workshop Proceedings II, Tsukuba, Japan, 1995
3. Canada-Japan R&D Workshop Proceedings III, Ottawa, Ontario, Canada 1996
4. Canada-Japan R&D Workshop Proceedings IV, Sapporo, Hokkaido, Japan, 1997
5. CHBA Builders Manual, Canadian Home Builders Association, 1997

# カナダ/日本住宅 R&D ワークショップ

1993 年から 1999 年までの成果を振り返って

Robin Sinha

CANMET Energy Technology Centre, Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 13<sup>th</sup> Floor, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 Canada

## 1. はじめに

カナダ/日本住宅 R&D ワークショップは、日加両国が住宅の研究開発分野で先進技術を共有あるいは交換するためのフォーラムと位置付けられる。日加双方の産官学の研究者および代表者に、住宅の建築技術、品質、性能の改善を目指した意見交換の機会を提供する。このワークショップの目的は、居住者の利益を追求し、しかも住宅産業による環境への負荷を緩和するため、例えば省エネルギー対策などについて持続可能な開発を進めることである。

1993 年にブリティッシュ・コロンビア州のウィスラーで第 1 回ワークショップが開催され、その後、1995 年（筑波学園都市）、1996 年（オタワ）、1997 年（札幌）に、第 2 回から第 4 回が開催された。そして、今年はシャーロットタウンで第 5 回を迎える。ワークショップは、回を重ねる度に発展し規模が拡大するとともに、議論の内容は多様化し一段と重要性が増している。

今回のワークショップでは、これまでの成果を再評価し、現状を勘案してさらに発展させるため、今後の方針について検討する必要があると思われる。そこで、本報では過去に発表された論文を概括するとともに、今後の共同研究の方向性について提案し、より困難で複雑な問題に取り組むための協力態勢の整備を目的とする。

最初のワークショップで日加双方に意義のある共通したテーマが提案・報告され、第 2 回以降は各テーマ毎に前回の内容を継承し進展させると同時に、それらに付随した新たな情報が提供された。議論された内容は多岐に及ぶが、大別すると以下の 3 つにテーマ分類される。

- 建築外被の熱・湿気・空気の変動特性と最適構成
- 暖冷房および換気の設計・性能
- 室内環境

ワークショップで得られた学術的な成果は、先進的住宅（R-2000 など）の先駆者から提示された実務的な技術情報も踏まえ、現在の省エネルギー・環境保全住宅に大いに貢献している。

## 2. 建築外被の熱・湿気・空気の変動特性と最適構成

建築外被は、屋内と屋外の環境を隔離することが本来の目的であるが、今日では断熱によるエネルギー効率の改善と耐久性（極寒地「カナダ北極圏、日本北部」から蒸暑地域「日本南部」に至る幅広い気候への適応）の必要性が認識される。過去のワークショップでは、熱・湿気・空気的基本的な移動メカニズムを明らかにするとともに、エネルギー効率の改善と高耐久性（湿害防止）を目的として壁体の温湿度挙動について議論された。

- 湿り材木の乾燥収縮はドライウォールの亀裂（釘留め個所）の原因となり漏気・漏湿を起こす。
- 亀裂個所からの漏気・漏湿により、湿害（内部結露）を発生する。
- 躯体含水量の季節変化が歪みの原因となる。

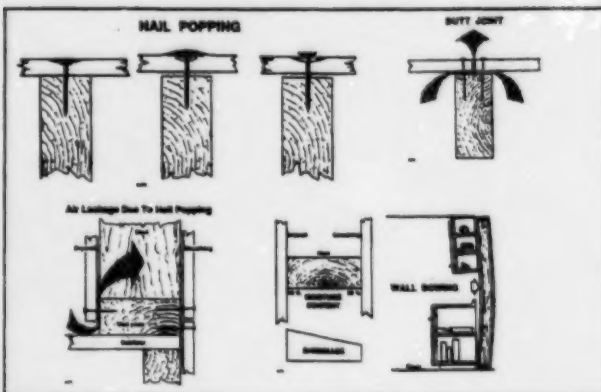


Figure 1: Effect of Shrinkage of Lumber on Airtightness, Wall Moisture Research In Canada, Donald M. Onysko, Canada-Japan Workshop I, pp109 - 120

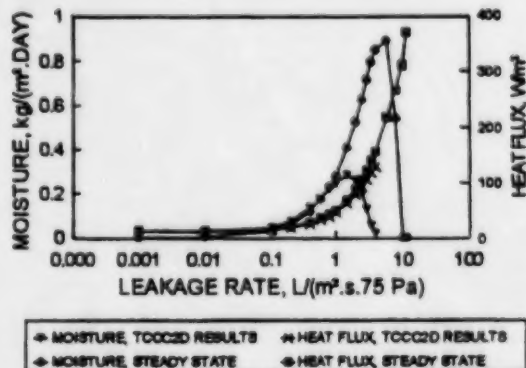
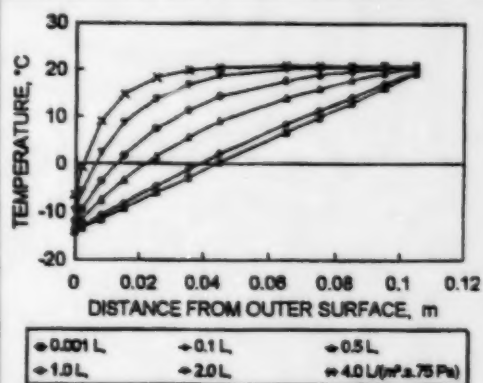


Figure 2: Influence of Air Leakage and Indoor Relative Humidity on Moisture Accumulation, Effect of exfiltration on the hygrothermal behaviour of a residential wall assembly: results from calculations and computer simulations, Kumar Kumaran, NRC, Tuomo Ojanen, VTT, Canada-Japan Workshop III, pp 39-46.

気象条件の変化と壁体システム（材料・構成）の違いにより、壁体の熱・湿気・空気の移動特性は複雑であるが、それらは相互に作用する複合移動現象であることは経験的に明らかである。そこで、壁体システムの温湿度を正確に予測するため基礎的な実験解析、数値シミュレーションの開発とそれによる動特性解析が多数報告された。その結果、周囲温湿度、気密性、断熱性、材料の湿度特性、空気流動（通気層、レインスクリーン）など条件の違いが壁体の温湿度変動に及ぼす影響を予測することが可能となった。

外壁で最も注意を要する防水（雨水の浸透防止）について次の報告がある。外装材裏面に設けた通気層（通気層の内側は防風シート等の気密層が必要）は、壁体内外の差圧を少なくし、風圧による雨水の浸透を防ぐ。この方法をさらに発展させたものがレインスクリーン（内部圧力を外部風圧

と同等に自然に制御) である。

壁物の気密性は寒冷地域ではエネルギー効率の向上のため必須であるが、一方で壁体内部の水分蓄積(室内から壁体内部への湿気の流入)を制限する働きもする。高気密住宅は、室内湿度が高い場合でも(室内換気不足、特別な生活様式などの理由により)、寒冷地域では壁体内部を低湿に保つ。ただし、断熱された住宅で施工不良等の理由により気密性が不十分な場合は、漏気・漏湿と断熱が原因で、エネルギー効率の悪い(気密断熱性の低い)住宅より却って湿害(冬季の内部結露)が発生する危険がある。

蒸暑地域における壁体の防湿設計は今回もテーマの1つであるが、過去のワークショップでも議論的となった。蒸暑

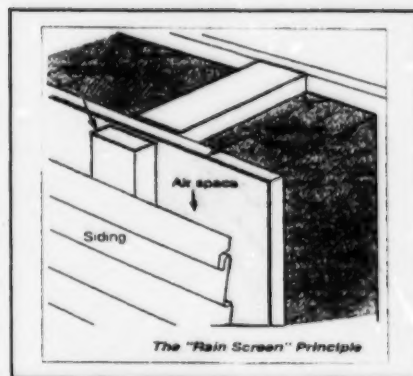


Figure 3: Rainscreen Air Cavity Design Detail, CHBA Builders Manual

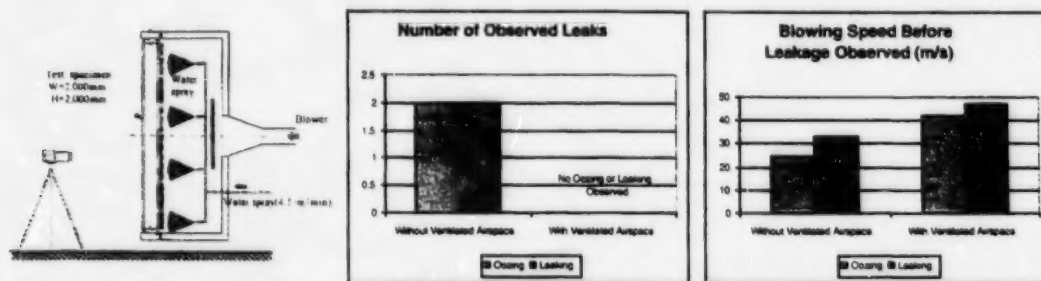
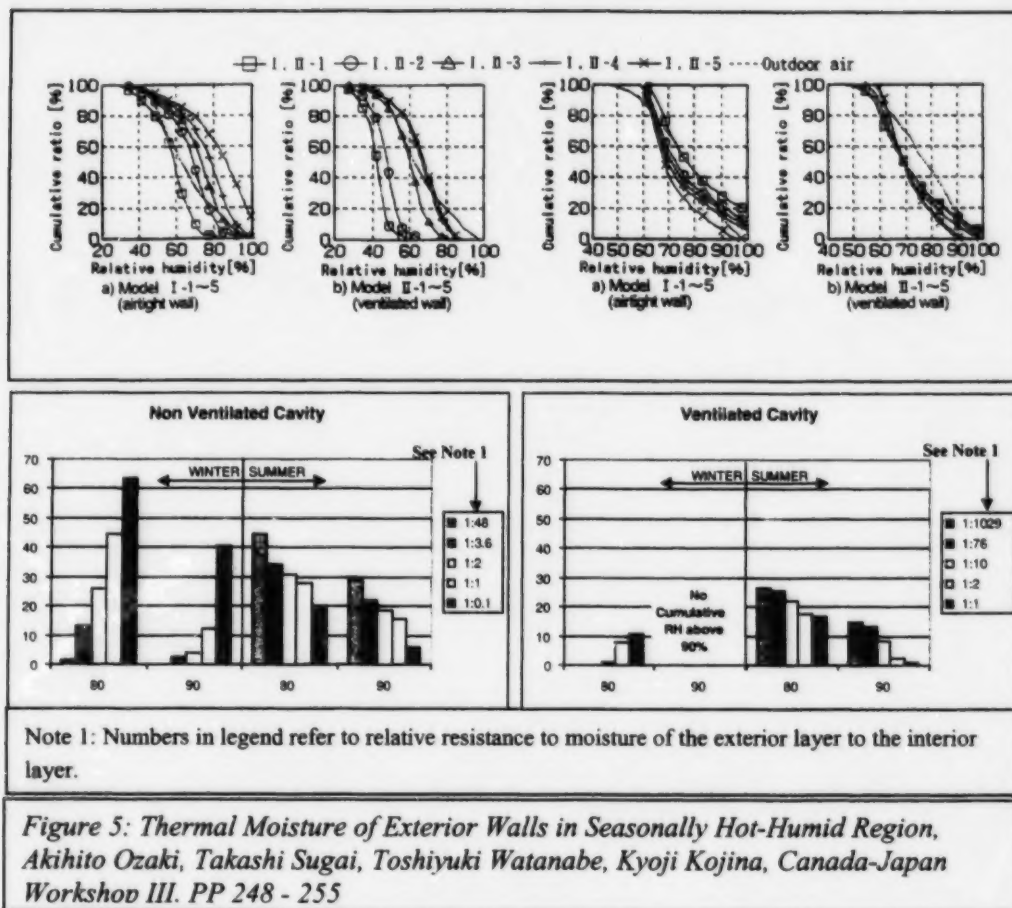


Figure 4: The Study on the Performance of Exterior Vented Cavity Walls in a Cold Region, Hirotaka Suzuki, Akira Fukushima, Canada-Japan Workshop III, pp 229-234.

地域では、壁体内の熱・湿気・空気は室内から外気あるいは外気から室内(双方向)へ流れ、冬季と夏季のいずれの季節も湿害の危険性があるため、通気層の必要性、防湿層の位置、材料の透湿性など、湿害予防のための壁体システム(材料と構成)について検討された。

壁体内部の多少の湿気の蓄積はやむを得ない、また不可避だとすると、湿気を室内または外気に排出して、乾燥し易いシステムを設計することが当面の目的となる。壁体内部の湿害の危険性は、相当量の湿気が長期間含有され、カビ・腐朽が発生することである。湿気の蓄積期間、蓄積量に関する厳密な限界値は今のところ明確でないが、特定の個所の相対湿度が80% または90%を越える時間の総量(時間累積率)が、蒸暑地域におけるシミュレーションおよび試験家屋の実測結果で壁体システムの相対的な性能比較に用いられた。

図5は蒸暑地域における防湿の難しさとその対応策を示したものである。内装材の透湿抵抗が外装材に比べて小さい場合は、夏季結露(内装材側)は減少するものの、冬季結露(外装材側)は増加する。反対に、内装材の透湿抵抗が外装材に比べて大きい場合(典型的な寒冷地型住宅)は、冬季結露(外装材側)は減少するが、夏季結露(内装材側)は増加する。福岡大学の実験により、夏季・冬季いずれの季節も結露を最小限にするようなシステム(壁体内外の透湿抵抗の調整)を選択



することで、通年に亘る湿害の危険性を緩和でき、また通気層を設けることが壁体内部結露を低減する基本であることが明らかにされた。数値解析を基に、通気層を設置した場合（ただし、外装材裏面の補強材は筋交いとし、構造用合板は使用しない）の蒸暑地域における内外装材裏面気密シートの最適な透湿抵抗（内装材側透湿抵抗は外装材側透湿抵抗の  $1/2$  あるいはそれ以下）が提案された（図 5 中の 1:2 を参照）。最適な透湿抵抗とした通気構法を用いると、相対湿度が 80%以上になる累積率は福岡では夏季・冬季いずれも 20%以下となる（構造用合板を使用した壁体については今回の論文を参照）。

また、外装材の断熱も壁体の湿気作用に有利に働くことが示されている。外装断熱により、寒冷地域では露点面が壁体の外側（通気層外側）に移動する結果となり、蒸暑地域では外装材裏面の構造用合板や間柱の昼間の昇温を抑制し材料からの放湿を緩和する。なお、東京を対象としたシミュレーションおよび実験室実験により、夏季結露は合板の温度を低く保つことで減少することが報告されている（*Concealed Condensation in Wood Frame Construction Walls during Cooling Period in Summer Season, Takao Tsuchiya, Canada-Japan Workshop III, PP 55-60*）。



これまでの研究で得られた結果を以下に列記する。

- 気密壁体は漏気・漏湿を防ぎ、冬季は壁体内部への湿気の蓄積を低減する。
- 気密壁体はたとえ室内相対湿度が高い場合でも壁体内部を低湿に保つ。
- 気密壁体は（外装材裏面に気密シートが施工された場合）レインスクリーンとしても機能し、雨水の浸透防止にも貢献する。
- 壁体内部の水分蓄積は、その期間と量が過剰にならない限り多少は許容する。
- 通気層は寒冷地域・蒸暑地域いずれも通年に亘り壁体内部の湿気の蓄積を緩和する。
- 外装材および内装材の透湿抵抗比を慎重に調整することにより、通気壁体の湿害予防を強化できる。
- 外装材を断熱することで、冬季は露点面が通気層外側に移動し、内部結露が劇的に減少する。

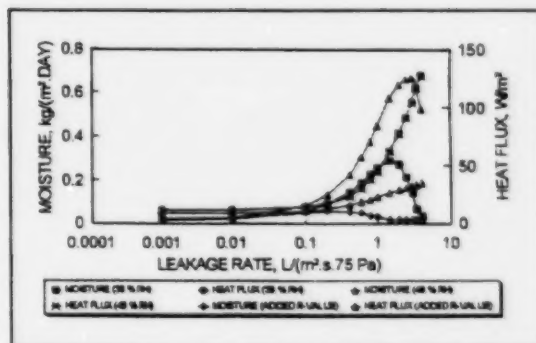


Figure 6: Effect of Exfiltration on the Hygrothermal Behavior of a Residential Wall Assembly, Tuomo Ojanen Kumar Kumaran Canada-Japan Workshop III, pp 39-46.

なお、湿害予防のための最適な壁体設計ガイドラインを提案するためには、さらに以下について検討する必要がある。

- 実験に使用する測定機器の改善（精度の向上）。
- あらゆる条件（気象条件、生活条件、壁体システムなど）に対応できる信頼性の高いコンピュータ・シミュレーション。
- 各種材料の湿度特性の測定。
- カビ・腐朽の発生条件（含水率、高湿な期間など）の明確化（ガイドラインの基準化）。

### 3. 換気の設計・性能

カナダ/日本の研究者は、住宅（特に気密住宅）の換気的重要性に関しては意見が一致している。また、新鮮な空気を屋内全域（特に寝室）に送風する必要があること、屋内空気の汚染源（例えば、カビ、台所等の悪臭）を除去、あるいは発生場所で排出する必要性についても同じである。ダクトを使用して各部屋に新鮮空気を均等に送風し、しかも給気・排気のバランスをとる換気システムが理想であるが、そのためには機械換気システムが必要となる。機械換気システムは、取り付け工事、運転維持管理の費用負担から普及が遅れている。そこで、パッシブ換気システムを含めて、簡易換気システムの調査研究と実際の建物の換気評価が行われた。過去のワークショップの研究発表は、ダクト式機械換気システムから完全なパッシブ換気システムに至るまで設計・性能に関するほとんどの問題点を網羅している。

機械換気システムの最大の障害は経費負担（設備費、維持費）である。建築業者と設計デザイナーは、経費を抑える努力をしながらも、給排気ダクトを簡易化する新しい設計・開発を試行している。しかし、

設備費を節減すると、全館に新鮮空気を供給するために換気ファンのエネルギー・コストが増加し、さらに換気効率が悪化する傾向がある。

第1回ワークショップ以来の NRC と BRI の共同研究により、煙突効果、風の影響、気密性、部屋の仕切り、漏気分布、消費エネルギー、快適温度などのパラメータの影響が検討され、換気システムの性能改善について報告されている。各パラメータの影響について実験解析するため、NRC と BRI の各研究施設に高性能な2階建て試験家屋が建設され、詳細なパラメータ感度試験が行われた。(Ventilation and Indoor Air Quality Research for Houses, C.Y Shaw, J.T Reardon, J.S Zhang, Canada-Japan Workshop II, pp 24-37; New Experimental Facility for studies on Airtightness and Appropriate Ventilation System of Houses, K. Bohgaki, T. Sawachi, Canada-Japan Workshop I, pp 211-218)

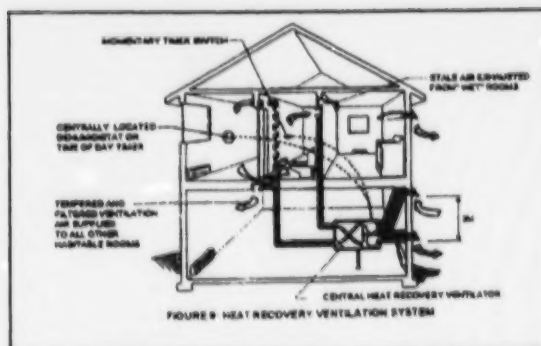


Figure 7: Ventilation Practices in Low Rise Residential Construction in Canada, C. Mattock, K Ito, Y. Murata, Canada-Japan Workshop III, pp 175-179

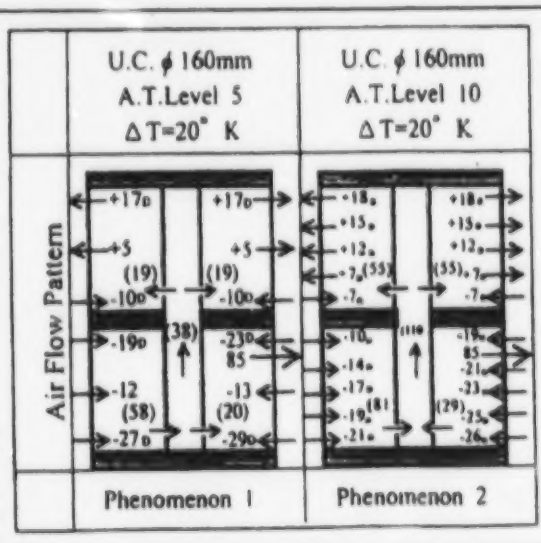
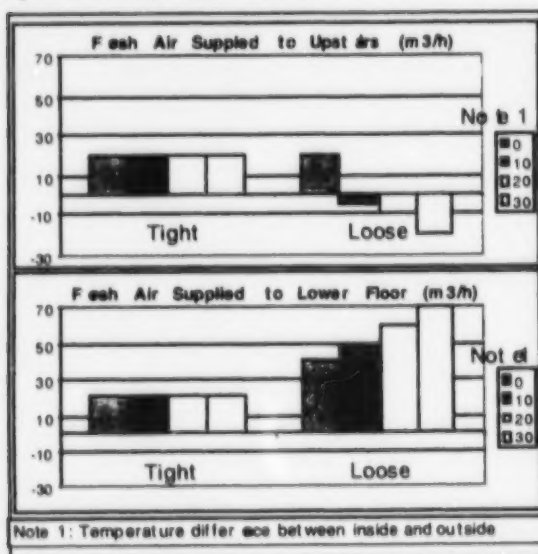


Figure 8: Framework for Evaluating Domestic Ventilation System: Case Study of Exhaust only Central Ventilation System, T. Sawachi, Canada-Japan Workshop II, pp 38-48

BRI のシリンダー・ハウスと NRC の換気研究施設の共同研究結果により、煙突効果、気密性、間仕切りの開口（例えば、ドア隙間）、給気計画などが新鮮空気の供給効率へ及ぼす影響が明らかにされた。例えば、図 8 は排気ファンを使用して屋外から新鮮空気を吸引した実験結果である（一般的な単純換気システム）。

- 階上、階下へ送風される新鮮空気の総量は、住宅の気密性が高いほど温度変化の影響を受け難い。



- 温度差があると漏気し易くなるので、階下への新鮮空気が増し（換気過剰）、その結果ドラフト（鉛直方向の気流）が生じて暖房エネルギーが増す。
- 建物の漏気が多くなり温度差が大きくなると、空気の浮力効果（下降流）により家屋の上部へは新鮮空気が流れ難いので、階上の寝室への新鮮な空気は減り、居住者の排出する  $\text{CO}_2$  や建材からの放出物質による空気汚染が酷くなる。

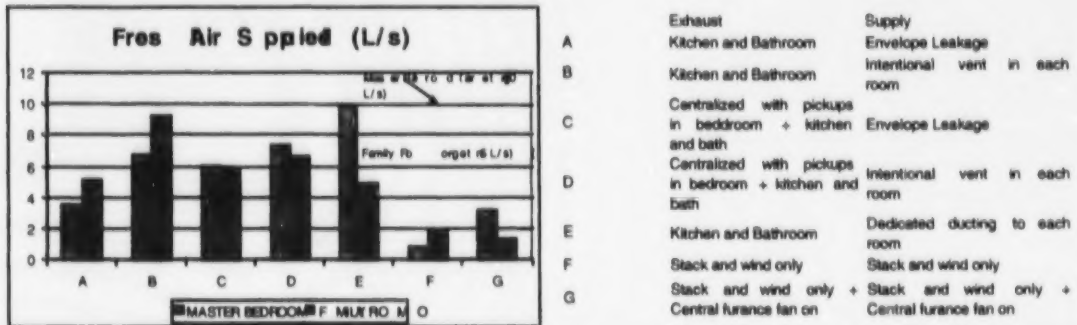


Figure 9: Evaluation of Five Simple Ventilation Systems Suitable for Houses without Forced Air Heating. J.T Reardon. C.Y. Shaw. Canada-Japan Workshop III. pp 105-110

過去の研究結果を踏まえ、現在はさらに複雑な換気システムを評価する段階に達している。最も有望なシステムは最小規模のダクト換気システムである（図9のシステムE参照）。例えば、小径ダクトを用いてセントラル給気し、台所や洗面所から強制排気するバランス・システムが考えられる。

機械換気の優れた効果にも拘わらず、カナダ/日本いずれの国も自然風の利用を期待している。温度差があれば、特に換気ファンに頼らないでも新鮮空気は流入する。北海道における研究は、十分な新鮮空気が流入し、冬季でも無理なく全館に行き渡るように、適切なパッシブ換気システム設計できることを示している。また、温暖な気候（春・秋）では、パッシブ換気システムは機械システムと併用して需要が増加している。ただし、平屋住宅へのパッシブ換気システムの適用は今後の検討を要する。機械換気システムの能力に匹敵するためには、経費、快適性、利便性に加えて、風、

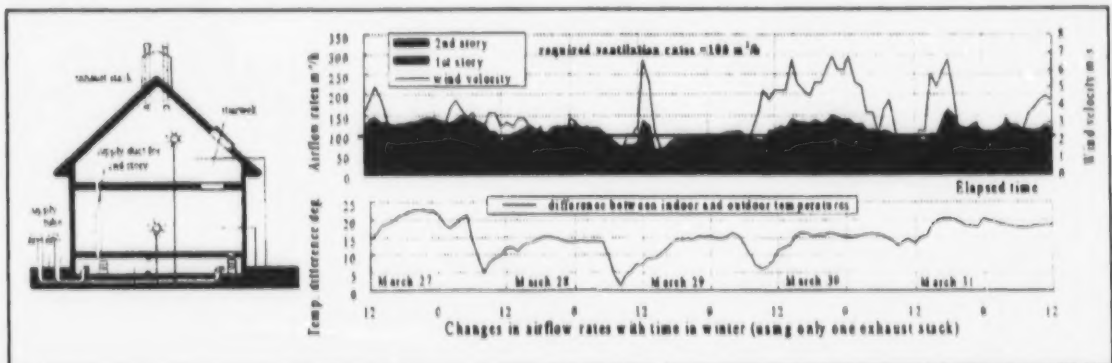


Figure 10: Feasibility of a Passive Ventilation System for Detached Houses in a Cold Region. Masamichi Enai. Canada-Japan Workshop IV. pp 11-7 - 12.

近隣家屋の密集度などの変動的な問題も考慮する必要がある。

カナダでは、代替換気システムとして、需要制御式換気に関する研究が行われており、機械換気システムと併用する例が増加している。室内空気質が悪化した場合や新鮮空気の流入が少ない場合に、効果的に強制換気するための制御方法（センサー感度も含む）が検討されている（*Opportunities for Demand Control Ventilation, Ken Cooper, Canada-Japan Workshop III, pp 154-158*）。相対湿度センサーのような室内空気質センサー、在室者反応センサー、温度差感知センサー等が研究されている、信頼性を高め、気密性、給気、汚染源などの相互関係を理解するためにさらなる研究が必要である。

低価格な排気ファン（排気専用システム）が販売されるようになったが、少なくとも寒冷地域においては給排気バランス式の換気システムが最も信頼できる（2階の寝室へも効率よく新鮮空気を供給できる）。温暖地域では、気密性の高い住宅については排気専用システムが効率的である。ただし、温暖地域におけるシステム効率を総合的に評価するには、寒冷地域の場合と同様、屋内に流入する高温多湿空気を調整するために必要なエネルギー・コスト、その他の通風調節機器、燃焼式装置（暖炉など）、窓開閉との相互作用などについて検討を要する。

これまでの研究により得られた結果を以下に列記する。

- 気密性は煙突効果、風の影響による換気量変化を防ぐためには必須である。
- 気密性能の予測により、パッシブ換気または機械換気の最適設計が可能となる。
- 適切に設計されたパッシブ換気システムは必要な換気量を保てる。ただし、各室への新鮮空気の供給計画を必要とする。
- パッシブ換気は効果的に浮力を調整してドラフト（鉛直気流）を防止することができれば、ファンのランニング・コストを抑えられる。
- パッシブ換気システムおよび排気専用システムは、居住者の不注意（窓の開放）で無駄になる場合がある。
- パッシブ換気システムおよび排気専用システムを用いる場合は、燃焼式装置は使用できない。

さらに、以下について検討を要する。

- パッシブおよび機械換気システム両方の最大限の可能性追求。
- 機械換気システムにおけるファンのエネルギー・コストの抑制。
- パッシブおよび機械換気システムの使用を最適化するための、IAQ センサー、在室者反応センサー、温度差抑制装置のような需要制御装置の果たす役割。
- 快適性、エネルギー・コスト、設備費、設置条件、利便性、維持管理などを考慮し、客観的に比較可能な性能評価指標の提案。
- 適切な住宅換気的重要性を市場および企業へ啓蒙。換気システムを付帯設備ではなく、住宅設計の一部として考慮。

現在、機械換気システムの代替システムを検証できる状況にあるので、住宅に最適な価格効率の良い換気システムの開発が期待できる。

#### 4. 室内環境

屋内環境に関する議論は、当初の気密住宅の快適性と湿度の問題から、一般的な住宅建設部材（合成材料）から放散される揮発性有機化合物（VOC's）による空気汚染問題へと複雑化している。室内空気汚染は世界中の関心事でもあり、カナダ/日本は材料から揮発される化学物質の基礎測定、設計ガイドライン作りに努力している。

カナダ・日本両国で数多くの実測調査を行った結果、現在は住宅の VOC 濃度の基準値が用意されている。気密住宅では換気が VOC 濃度（換気されなければ危険な状態）を低くする重要な役割を果たすが、全ての住宅が換気装置を備えているわけではない。建築業界は、多くの住宅が直面している深刻な室内空気汚染に重大な関心を示している。

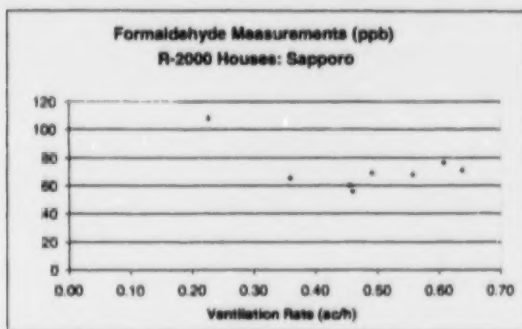


Figure 11: Effects of Highly Air-tight Houses on Human Health, K.Ikeda, Canada-Japan Workshop I, pp 189-200

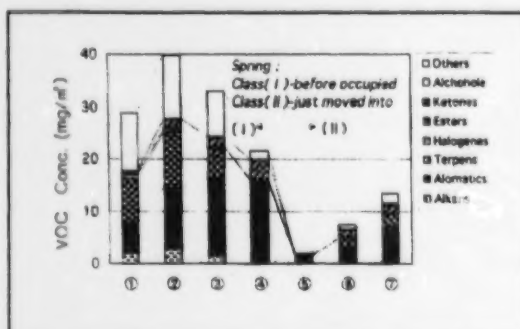


Figure 12: VOC Measurements in Japanese Apartment Houses, K. Ikeda, M Hori, Canada-Japan Workshop pp IV - IV-7 - 12

カナダの R-2000 あるいは先進住宅プログラムでは、VOC の放散量の少ない「健康材料」を確認している。日本も同じ作業を進めており、データベースの充実が期待される。

しかし、材料の試験基準および材料の格付けについては未だ確立されていない（ただし、建築ブロックに関しては既に標準化されている）。今後、消費者の要求に応えるため、諸機関の同意を得て「健康材料」の表示システムあるいは格付けシステムを作成する必要がある。表示システムは、一方で企業に「より健康的な材料」の提供を求める圧力にもなる。現況は、カーペット・ラグ研究所（CRI）がカーペットの品質表示のために自主的な基準を設定している。木材製品やペンキのような他分野の産業グループも、VOC 濃度の低い製品を判別できるように表示システムを採択し始めている。

先進住宅に関するカナダの研究では、住宅に使用される各種材料は外見は同じでも、それらの VOC 放散量には大きな差があることを明らかにしている。なお、先進住宅では VOC 濃度の高い材料は工事中あるいは竣工後に建物から撤去される。特に、測定結果に差の大きい材料はカーペットで、7つ

TVOC	500 ug/m <sup>2</sup> -h
Styrene	400 ug/m <sup>2</sup> -h
4-PC	100 ug/m <sup>2</sup> -h
HCHO	50 ug/m <sup>2</sup> -h

Figure 13: Carpet and Rug Institute Voluntary

## TVOC Emission Factors

	No. of Samples	Max ug/m <sup>2</sup> -h	Min ug/m <sup>2</sup> -h	Avg ug/m <sup>2</sup> -h
Carpet	7	56223	18	14896
Vinyl Flooring	5	9408	948	3425
Particleboard with Coatings	1	-	-	114
Composite Wood Product Assemblies	4	1378	459	737
Low Emitting Paint @ 120 hour	2	42	9	26
Conventional Paint @ 120 hour	2	308	243	276
Cellular Plastic Insulation	2	68	45	57
Structural Composite Wood Products	3	386	55	228
Interior Plywood (coated)	1	-	-	170
Carpet Underpad	2	856	33	445
MDF with Coatings	4	835	57	340
General Interior Finishing Materials	4	479	21	219

Figure 14: Development of a VOC Emissions Database for Building Materials, D. Figley, J Makohon, R. Dumont, T. Mayo, Canada- Japan Workshop III, pp 315 - 321

のサンプルのうち 2 例が突出し、放散量に 15000 倍もの差が認められた (5 つのサンプルの放散量は 1000 ug/m<sup>2</sup>-h 以下)。この調査により次の 2 つの問題が提起される。

- 試験結果は、製品の放散特性を代表しているか。
- 建築製品の化学汚染とは何か。建設現場で汚染物質を吸着する場合もある。

北欧では、室内空気質をある水準に保つために必要な換気率を基準にして、一般材料の放散量 (MEC, Material Emission Classes) を、低 (40 ug/m<sup>2</sup>-h)、中 (100 ug/m<sup>2</sup>-h) に類別している。試験した材料の大部分は MEC クラスの範囲にあることから、全ての企業が研究成果を享受し、健康材料を供給できることを示唆している。

材料の VOC およびその放散特性のデータベース化は大変な作業であり時間を要すると思われるが、試験方法を標準化することによりカナダ/日本の協力態勢が整うと想像できる。

材料からの放散物質については重要な継続的研究テーマであるが、一方で居住者の生活に密着した汚染も調査する必要がある。例えば、湿気によるカビ (健康への影響)、CO<sub>2</sub>、塵、調理等による発生ガス、暖房機器の燃焼副産物、ダニなどの問題も、多様な汚染の 1 つである。換気計画は配慮すべき問題であるが、真に健康的な屋内環境を作るためには、汚染原因とその影響を考え、汚染源をコントロールあるいは除去することが重要である。

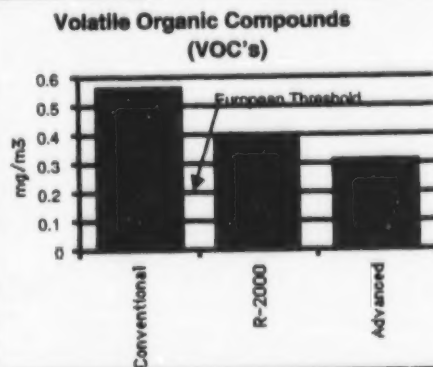


Figure 15: Monitoring Results from Advanced Houses, Canada-Japan Workshop III, pp 375-380

これまでの研究により、得られた結果を以下に列記する。

- 合成材料、接着剤を多く使用すると室内空気質を著しく汚染する。このような汚染物質を換気に頼り除去することは解決にならない。
- 同じような材料でも、異なる種類の多数の化学物質が放散される。家屋の VOC 濃度に影響する材料は膨大である。
- 生活用品（家具、洗剤、趣味）も室内の VOC 濃度に影響する
- 化学物質と同様に、湿気、カビ、ダニ、燃烧副産物など、その他の汚染源も居住者の健康に重要である。

なお、次の課題が残されている。

- 各種材料からの放散物質を測定する試験基準
- 優れた製品の需要を高めるた、汚染物による健康への影響を公文書化
- 室内における合成物質の最大許容量を見積もる（予測機器の開発）
- 製造業者による健康的な各種材料の開発・提供を奨励するための表示システムの作成

室内環境の改善には企業の協力が必須であり、汚染物質のデータベース作成には資金と労力を要する。汚染物質による健康への影響について居住者へ啓蒙し、消費者サイドから健康材料のニーズを増やすことが今後の改善に大切であろう。

## 5. 結 論

過去 6 年間に報告された内容は、今後の研究方針の決定に有用である。ワークショップはカナダ/日本両国に有意義なテーマを選択し、技術・情報について交換する良い機会となる。これまでに議論したテーマは、省エネルギー住宅、健康住宅、環境保全住宅にとって不可欠なものである。それらのテーマは多様で複雑に関連するため、一研究機関あるいは一国のみで単独に解決できる問題ではない。グローバルな環境問題を背景に、今日では国際協力を要する問題である。カナダ/日本は、それらに対して主導的立場で世界をリードできると確信する。

研究を持続し、創意・工夫を重ねることは大切であるが、一方で成果を市場で活用することも重要である（住宅産業の実践的な設計技術や価格効率に結びつける）。住宅産業の先駆者（R-2000、先進住宅、健康住宅等の関係機関）は、市場に多大な影響を及ぼし社会に益々貢献すると考える。民間企業が価格効率、実務的な設計改良、建築の性能・耐久性向上に努めるべく研究開発に従事するには、このワークショップのような継続的なインフラストラクチャーが必要である。

カナダ/日加両国の建築関係者および研究者は、このワークショップを通じて優れた情報を得ることが出来る。両国および個人の信頼関係を構築し、実務社会へのフィードバックを期待したい。





**Session 1／分科会 1**

**Ventilation／換気**





# A Project on the Development of Hybrid System and Calculation Cases

Hiroshi Yoshino, Jing Liu and Jyun Wada

Dept. of Archi., Urban Planning and Building Eng., Tohoku Univ.

06 Aramaki Aza Aoba-ku, Sendai. 980-8579, Japan

## 1. Introduction

Ventilation is one of the main ways to reduce the pollution inhalation. But the increase of ventilation rate can result in the increase of heating and cooling load, then lead to tremendous energy consumption. In addition, the energy consumption by the operation of fans can not be ignored. Therefore, it is necessary to develop a new kind of system combining with natural ventilation and ventilation & air conditioning system to minimize the energy consumption.

In this study, on the base of measurement within big test chamber and numerical simulation, the hybrid system to reduce pollution inhalation will be developed. In addition, available evaluation and selection manuals will be made for the design of optimum system under various conditions. In this paper, the research methods and schedule of this study is described and some calculation cases related with hybrid ventilation system are discussed. The hybrid system can be described as a two-mode system that can automatically switch between natural passive, window opening and mechanical mode.

## 2. Research Methods

Firstly, the performance of the existing kinds of natural and mechanical ventilation systems is compared with hybrid system for dwellings under various conditions by numerical simulation. Then experimental study concerning the performance of various kinds of ventilation systems will be carried out on in a full-scale test house. The calculation model may be further refined after the comparison of measurement results with simulation results. The work will result in a detailed evaluation & selection guide for the design of hybrid system, finally. Figure 2 shows the time schedule and programme work for this project.

## 3. Full-scale Test House with Ventilation Systems

*3.1 Full-scale test House* The exterior appearance, house plan and sections are shown in Photo 1, Figures 1 and 2, respectively. The existing one-story test house for solar experiments has been

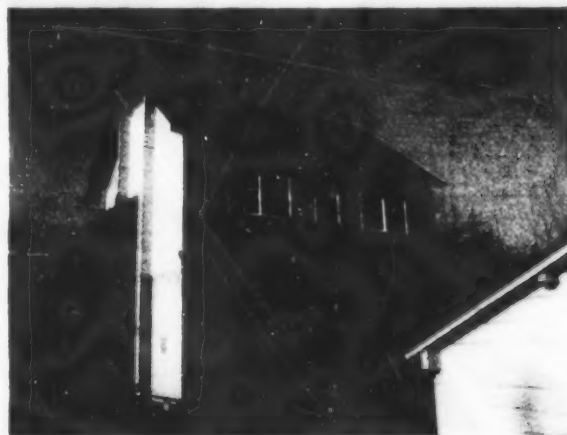


Photo1 Exterior appearance of the test house

## First year

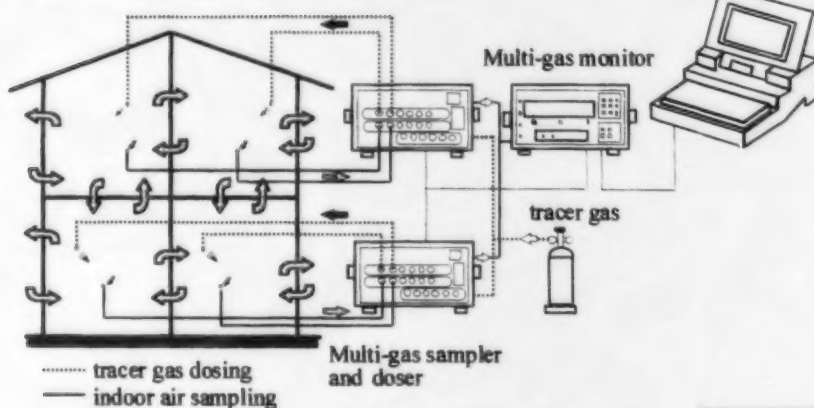
Evaluation for existing ventilation systems by numerical simulation

Proposal of hybrid systems

Development of calculation model

Information of chemical material emission rates

## Second year



Validation experiment in test house

Improvement of calculation model

## Third year

Planned effort

Proposal of optimal hybrid systems

Accomplishment of evaluation and selection manual for hybrid systems

Development of evaluation tool

Figure 1 Flow chart of this project

reformed to two stories for this experimental work, having a floor area of  $78.9\text{m}^2$  and volume of  $228.7\text{m}^3$ . The hallway divides the two floors into two parts. Except for the staircase outside, the two floors are connected by well in the south. The usage of the rooms is assumed as shown in Figure 2. For heat insulation, except the exterior wall on the gable side (20cm), other exterior walls, ceilings and floors are made by 10cm polystyrene foam board. The windows are made by double glazing (the windows in the first floor are 5+A6+5, while in the second floor are 3+A12+3). Two electric movable windows aimed for air exchange are installed in the north roof of hall on the second floor. The vents whose equivalent leakage area is  $10\text{cm}^2$  are installed in each room. In addition, room air conditioners are installed in the north walls of habitable rooms. The tubes (PE ducts, 20cm in diameter) from outside to the first floor are installed inside the earth, which can be used as air supply ducts. The airtightness of the total building is about  $2.6\text{cm}^2/\text{m}^2$  after all the vents were closed, the supply and exhaust openings of ducts, sashes in the first floor were sealed.

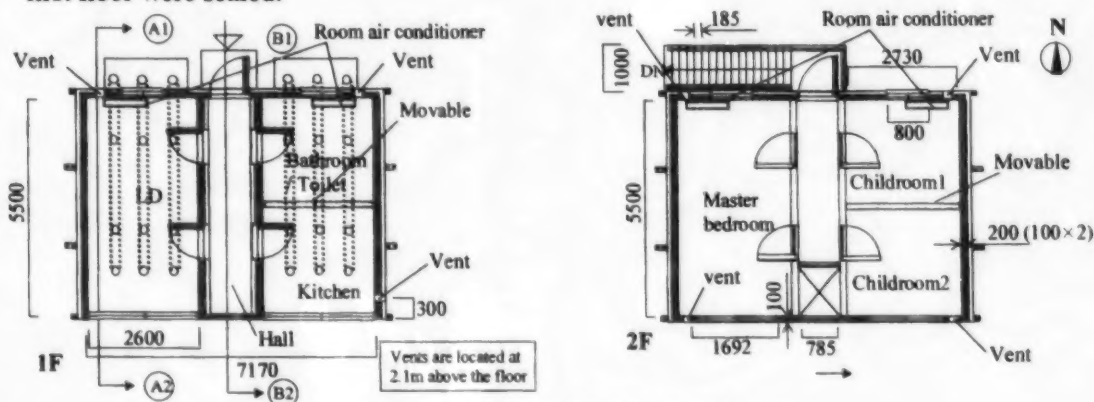


Figure 2 Floor plan of the test house

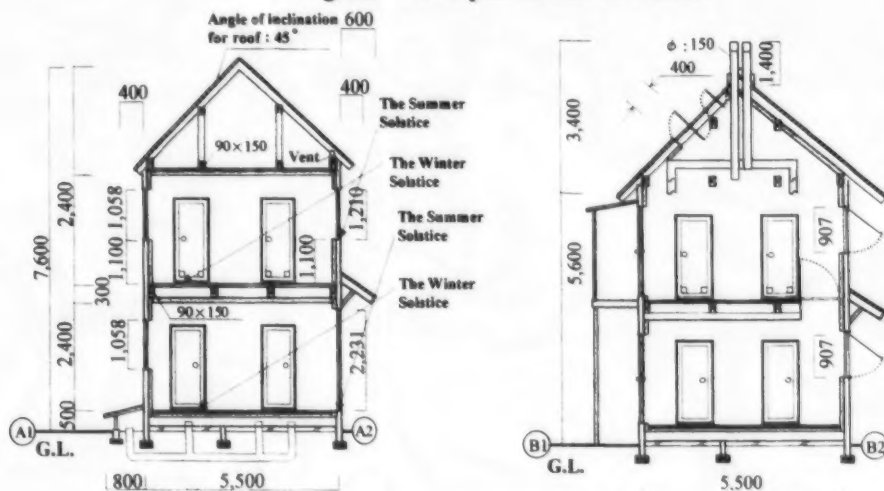


Figure 3 Sections of the test house

**3.2 Ventilation System** This test house is designed to evaluate the performance of mechanical central system (Figure 4) and hybrid system (Figure 5). In the case of mechanical central system, outdoor air is driven from the north side and delivered to living room, bedrooms and bath room. The extract air is transferred from all the rooms to the outside in the south. The max fan flow, max static pressure and electric power of supply and exhaust fans is 368/357[m<sup>3</sup>/h], 12/14[mmAq] and 41.5/49[W] (50Hz/60Hz). In addition, the mechanical central ventilation system can be changed to mechanical supply or mechanical exhaust ventilation system. Return duct or air conditioner can also be assembled.

The hybrid system consists of two passive ducts, a chamber and ducts connected with the chamber and each room. There are electric dampers between the two passive ducts and chamber, and a small fan (max fan flow 170/173[m<sup>3</sup>/h], max static pressure 1.9/1.9[mmAq], electric power 5/6[W] (50Hz/60Hz) , located on one of the passive ducts, will be run when exhaust airflow rate is not enough. The passive duct diameters are 20cm and the top is 9m above the earth.

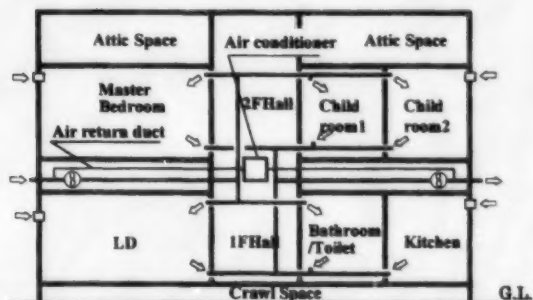


Figure 4 Diagram of mechanical ventilation system

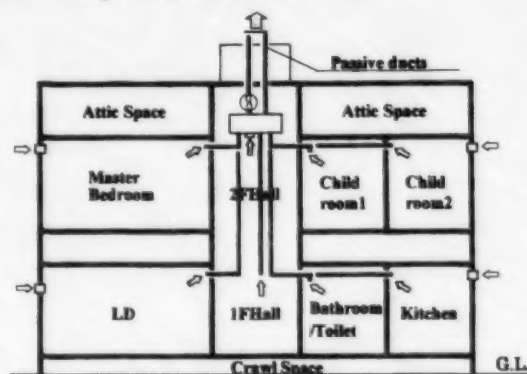


Figure 5 Diagram of hybrid system

#### 4. The calculation cases for hybrid system

**4.1 Calculation condition** Calculations were made using the multizone ventilation model COMIS. The calculation condition is shown in Table 1. With this system, as shown in Figure 5, the intake air is supplied through the vents in the building, and the extract air is exhausted from two passive ducts, which are connected with the ducts from all the rooms and the hall. The necessary airflow rate is assumed as 80m<sup>3</sup>/h. The small fan installed at the bottom of the passive ducts will be run on if outdoor temperature is above 10°C (indoor temperature is 20°C) or wind speed is below 5m/s, which is the considered as the limit value that can not satisfy 80m<sup>3</sup>/h.

**4.2 Calculation results** The daily variation of airflow rates through passive ducts during the heating season is shown in Figure 6. In the case of passive system, it is clear that airflow rate increases with the higher indoor-outdoor difference. At the intermedian season such as October, the supply air cannot satisfy the necessary airflow rate. On the other hand, with hybrid system, the airflow rate can reach the necessary airflow rate 80m<sup>3</sup>/h (0.5/h) at most of the days during the

Table 1 Calculation condition

Vent	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.2m above the floor</li> <li>• equivalent air leakage area : <math>10\text{cm}^2</math></li> <li>• two vents located at living room and master bedroom</li> <li>one vent located at child room 1,2</li> </ul>
Extract system	<ul style="list-style-type: none"> <li>• extract ducts diameter 100mm</li> <li>• located at 2.1m above the floor in each room</li> <li>located at 2.4m above the floor in the hall</li> </ul>
Passive duct	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8.6m above the earth (2F roof + 3.0m)</li> <li>• passive ducts diameter 150mm</li> <li>• wind pressure coefficient -0.35</li> </ul>
Fan flow	$80\text{m}^3/\text{h}$ uniformly
Indoor temperature	$20^\circ\text{C}$ all the rooms uniformly
Regions (northeast)	Sendai (warm) , Aomori (moderate) , Yabukawa (cold)
Calculation period	10/1 ~ 4/30 (the same of the three regions)
Air leakage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• equivalent leakage area : <math>2.0\text{cm}^2/\text{m}^2</math></li> <li>• splitted into five equal parts according to the area of walls</li> </ul>
Window opening	closed during the heating season
Interior door	door undercuts of $200\text{cm}^2$ between rooms and the hall
Wind pressure coefficient	taken from AIVC. Length to width ratio is 1:1, ratio of reference building height to the height of the surrounding buildings is 1:1

heating season. The relationship between airflow rates through passive ducts and indoor-outdoor temperature is shown in Figure 7. At the temperature difference less than  $10^\circ\text{C}$ , airflow rate is fixed at  $80\text{m}^3/\text{h}$  due to the fan. When the temperature difference is more than  $10^\circ\text{C}$ , airflow rate increases with the increase of temperature difference. However, when the temperature difference is more than  $20^\circ\text{C}$ , airflow rate even exceeds  $120\text{m}^3/\text{h}$  (150% of necessary airflow rate). It means that the method to restrain the airflow rate should be proposed.

### Conclusions

In this paper, the study on development of hybrid system is briefly introduced and some calculation cases related with hybrid ventilation system are discussed. As the result, with the hybrid system, the airflow rate can satisfy the necessary airflow rate  $80\text{m}^3/\text{h}$  ( $0.5/\text{h}$ ) at most of the days during the heating season. However, when the temperature difference is more than  $20^\circ\text{C}$ , the method to restrain the excess airflow rate should be proposed.

**Acknowledge** This research is one subtask of "Optimal Method Development to Design Indoor Environment to Minimize Pollution Inhalation" (led by Prof. Murakami, Institute of Industrial Science, the University of Tokyo), which is supported by the Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology of the Science and Technology Agency of the Japanese Government.



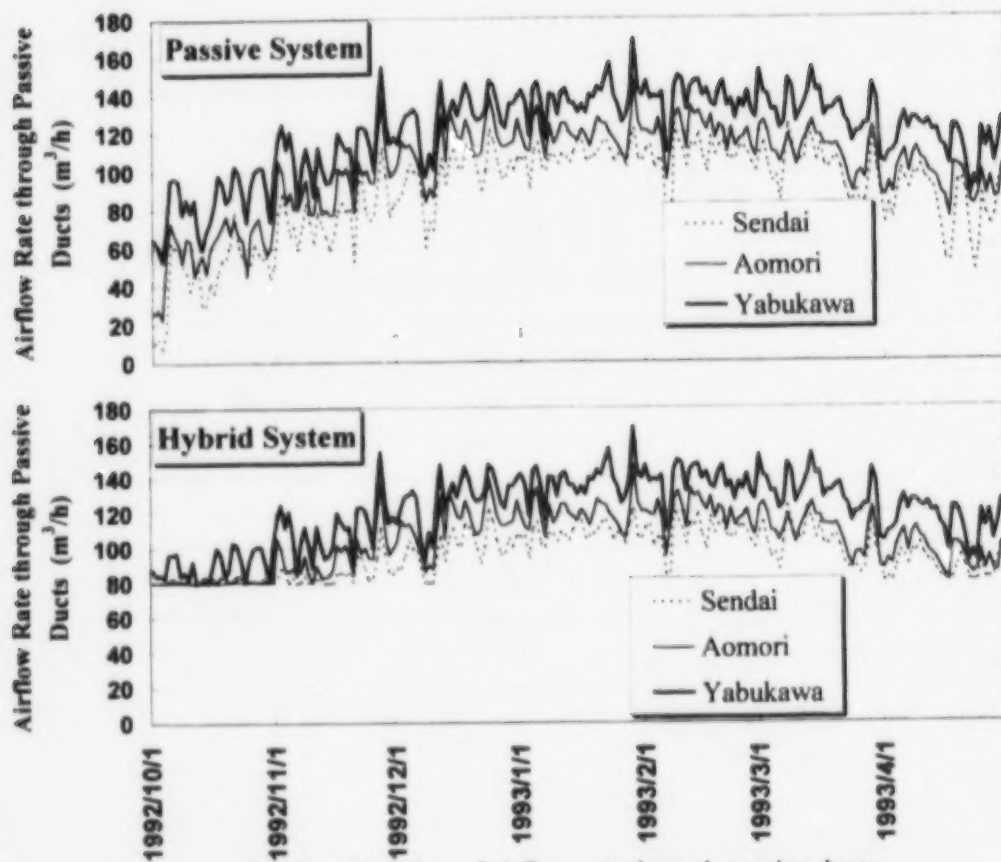


Figure 6 Variation of airflow rate through passive ducts

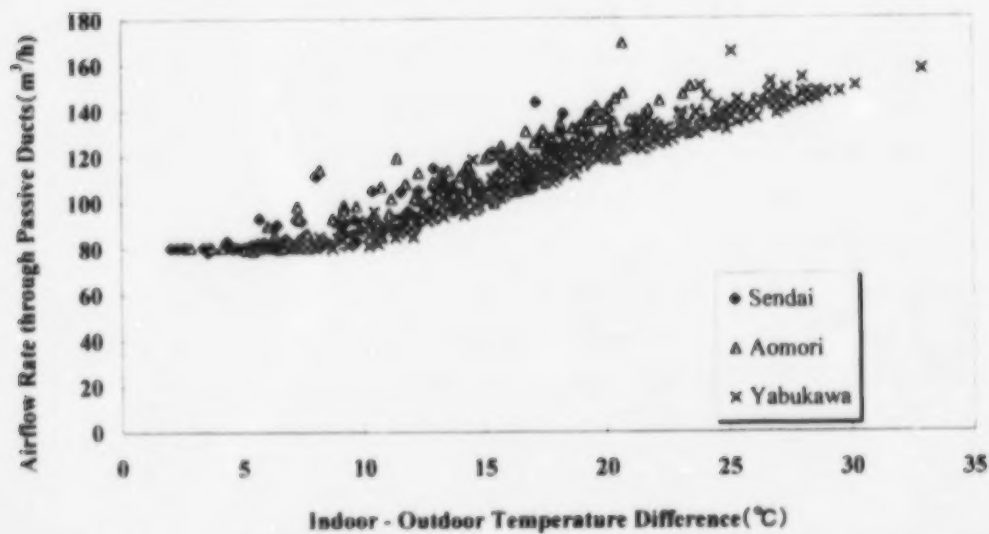


Figure 7 Relationship between airflow rate through passive ducts and temperature difference

# ハイブリット省エネ型換気・空調システムの開発の研究概要と計算例

吉野 博, 劉 京, 和田 淳

東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻

980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06

## 1. はじめに

人体吸気汚染を低減するための大きな柱の一つが稀釈換気である。しかし、換気量を増大させれば暖冷房負荷が増し、エネルギー消費の増加につながる。また、換気用ファンの運転によるエネルギー消費も無視することはできない。そこで、自然換気と統合した省エネルギー的で効率のよい換気・空調システムを考案する必要がある。

本報では、屋外に設置する大型実験箱や実在住宅における実測並びに数値計算によって、化学物質による汚染低減のための省エネルギー型ハイブリット換気・空調システムを開発すると共に、各種の条件に対応した最適システムを設計する上で有用な評価・選定マニュアルを作成することを目的とした研究の概要とハイブリット換気システムの計算例を報告する。なお、ハイブリット換気システムとは補助ファンを設けたパッシブ換気システムや窓の開閉による自然換気と統合した機械換気システムを言う。

## 2. 研究方法

現存する種々の換気方式に関して、換気計算プログラムによる数値実験によって評価し、化学物質による空気汚染を防止するために適した換気方式を検討する。また、屋外に設ける大型実験箱並びに換気・空調システムを設計・製作し、検討された複数の換気方式の性能を明らかにするためにの実験を行い、数値計算による結果と照合し、必要があれば計算プログラムを改良する。その結果を基に、省エネ型ハイブリット換気・空調システムを提案し、さらに建物条件、気候条件に最適な換気システムを選定できる評価・選定マニュアルを作成する。研究のスケジュールとフローを図1に示す。

## 3. 大型実験箱と換気システムの概要

3.1 大型実験箱 実験箱の外観を写真1に、平面図、断面図をそれぞれ図2、3に示す。大型実験箱は、太陽熱利用実験のために既に建設されていた大型実験箱を改造し、2階建てとした。床面積は78.9m<sup>2</sup>、室容積は228.7m<sup>3</sup>である。それぞれの部屋は図1に示したような用途に使用するものと想定する。1、2階ともにホールを挟んで左右にそれぞれ同じ大きさの部屋を設け、右側の部屋はさらに

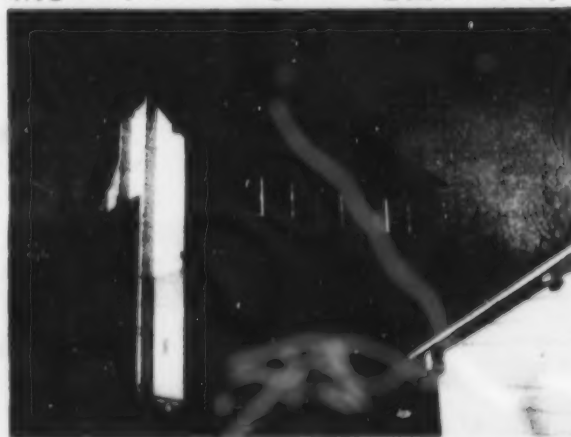
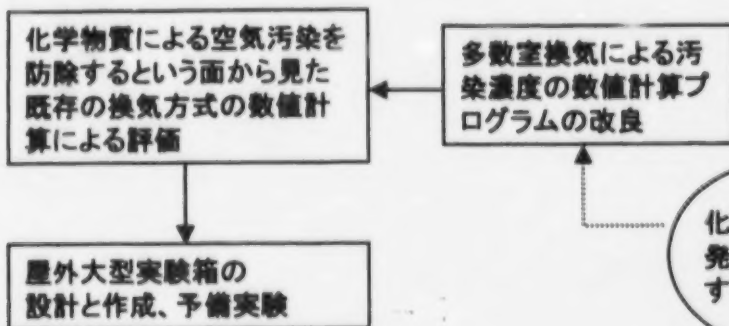
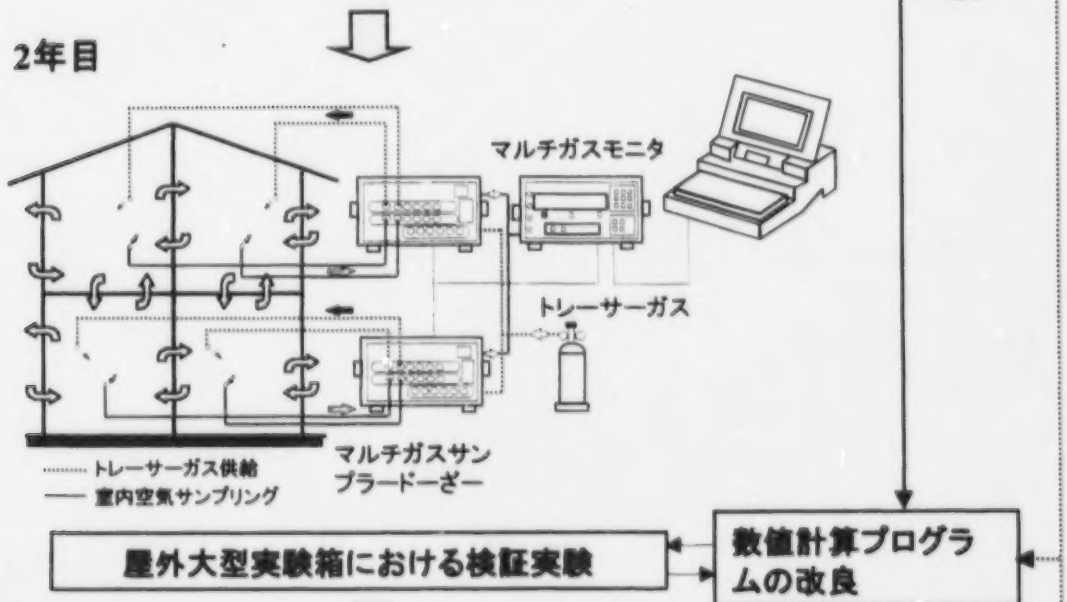


写真1 屋外大型実験箱の外観

# 1年目



# 2年目



# 3年目

## 研究成果

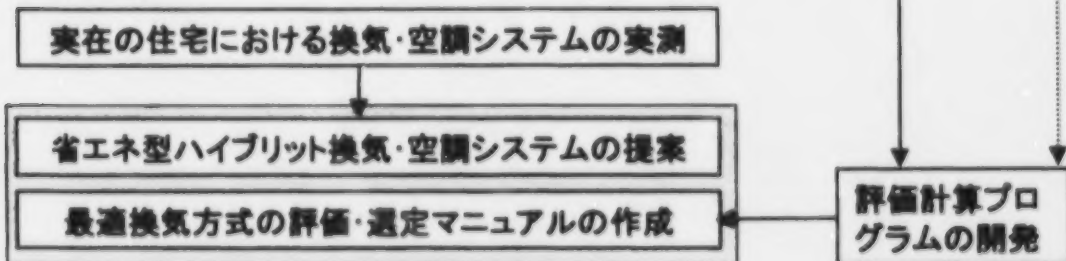


図1 研究フロー

2室に分けている。段階は外に設けてあるが、1階と2階は廊下の南側部分に設けた吹き抜けによって空間的につながっている。断熱については、妻側外壁に厚さ 20cm、それ以外の外壁、天井、床に厚さ 10cm の発泡ポリスチレン板が施されている。窓には復層ガラス（1階の窓は5+A6+5、2階の窓は3+A12+3である）がはめ込まれている。2階廊下の北側の屋根には電動で開閉可能な窓が二つ設けられており、換気・通風が可能である。各室には給気口が設けられている。有効開口面積は  $10\text{cm}^2$  である。又、ルームエアコンが、居室の北側壁4カ所に設けられている。1階床下には外気に通じるチューブ（塩ビ製、直径 20cm）が地中に埋設されており、給気ダクトとして利用することが可能である。建物全体の気密性能は、外壁に設けられた給気口を閉とし、ダクトの給気口と排気口、1F のサッシをシールした状態で単位床面積あたりの相当開口面積は  $2.6\text{cm}^2/\text{m}^2$  である。

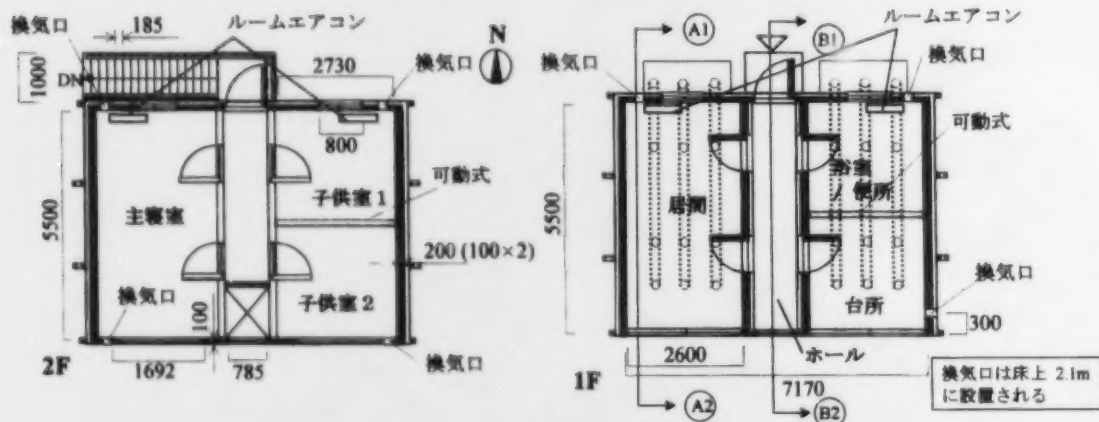


図2 実験箱の平面図

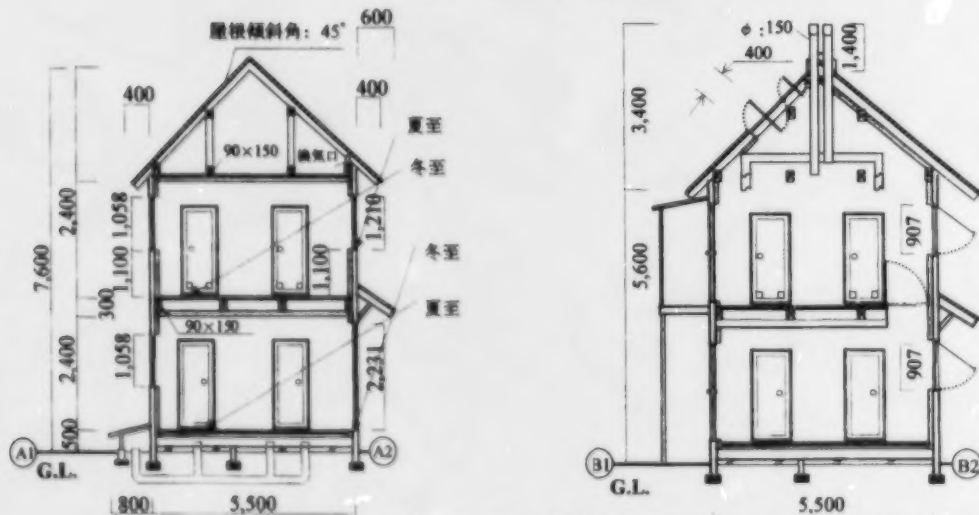


図3 実験箱の断面図

3.2 換気システム 各種の換気システムの性能評価が可能のように、図4に示す第1種機械換気システムと図5に示すハイブリット換気システムを設けた。第1種換気システムでは、北側から外気を取り入れ、居間、主寝室、子供室1、2、浴室に供給する。また、浴室、台所、居間、主寝室と子供室1、2から室内空気を吸って南側に排出する。給気用、排気用のファンはそれぞれ最大風量が 368/357[m<sup>3</sup>/h]、最大静圧が 12/14[mmAq]、消費電力が 41.5/49[W] (50Hz/60Hz)である。第2種又は第3種換気として用いることや、レターンを設置し、空気清浄器を組み込むことも可能である。

ハイブリット換気システムは2本の排気用立てダクト、チャンバー、並びにチャンバーと各室を繋ぐダクトからなる。2本の立てダクトとチャンバーの間には電動ダンパーが設けられており、またその一方には小型ファン（最大風量が 170/173[m<sup>3</sup>/h]、最大静圧が 1.9/1.9[mmAq]、消費電力が 5/6[W] (50Hz/60Hz)である）が設けられており、排気能力が不足するときにはこのファンを運転する。立てダクトの直径は 20cm で排気筒は地上高さ 9m である。

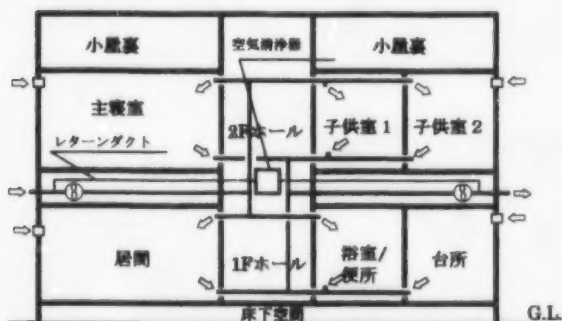


図4 機械給排気換気システムの概念図

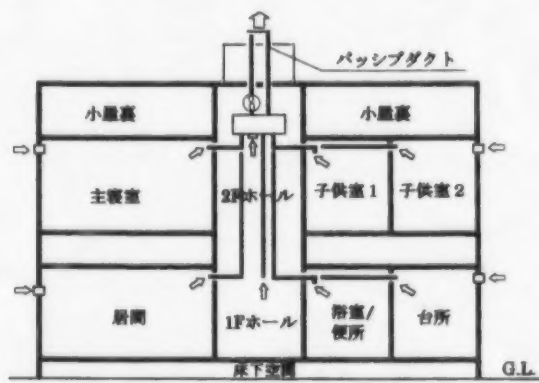


図5 ハイブリット換気システムの概念図

#### 4. ハイブリット換気システムの計算例

4.1 計算条件 大型実験箱を対象として換気計算プログラム COMIS モデルを用いて計算した。計算条件を表1に示す。システムは、図5の通りであり（若干異なる）、各居室（居間・食堂、主寝室、子供室1、2）の外壁給気口から外気を導入し、各室（居間、主寝室、子供室1—2、台所、浴室・便所）の各排気ダクトと2階廊下上部の排気口を介して排気用立てダクト2本より排気する。必要換気量を 80m<sup>3</sup>/h と設定し、補助ファンは排気用立てダクトの下端に設置し、予備計算の結果に基づいて、排気用立てダクトの換気量が約 80m<sup>3</sup>/h に満たない外界条件、即ち、外気温 10℃以上（室内 20℃）且つ風速 5m/s 以下の場合に運転するものとする。



表1 計算条件

外壁給気口	<ul style="list-style-type: none"> <li>・床上2.2mの位置に設定</li> <li>・相当開口面積：10cm<sup>2</sup>/1個</li> <li>・居間，主寝室には2ヶ所に設置</li> <li>・子供室1,2には1ヶ所に設置</li> </ul>
排気システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排気ダクトの直径100mm</li> <li>・各室の床上2.1mの位置に設置</li> <li>・1,2階廊下の排気口は床上2.4mの位置に設定</li> </ul>
排気用立てダクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上高さ8.6m (2F天井レベル+3.0m)</li> <li>・排気用立てダクトの直径150mm</li> <li>・風圧係数：-0.35</li> </ul>
補助ファンの性能	80m <sup>3</sup> /h (能力一定)
室内温度	全室20℃一定
対象都市 (東北)	仙台 (温暖地域)，青森 (中間地域)，蕨川 (寒冷地域)
計算期間	10/1～4/30 (暖房期間は，3地域とも同様)
建物の隙間	<ul style="list-style-type: none"> <li>・相当開口面積：2.0cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup></li> <li>・外壁面積に応じて分配し，外壁を上下5分割</li> </ul>
窓換気	なし (期間中、窓の開閉は考えない)
間仕切扉の開口	各室とホールの間のドア下部に相当開口面積で200cm <sup>2</sup> の開口を設置
風圧係数	AIVCで整備されたデータを使用した。建物形状は平面的には正方形で周辺には対象建物の高さと同等の高さの建物が存在する場合の風圧係数を用いた。

4.2 計算結果 図6に暖房期間における排気用立てダクトからの換気量の日変動を示す。パッシブ換気システムでは、室内外温度差と共に換気量は増しているから、中間期、(10月頃)に必要な換気量を十分満たす空気が供給されていないことが分かる。一方、ハイブリット換気システムでは、暖房期間のほぼ全日、必要換気量の80m<sup>3</sup>/h(0.5回/h)以上の換気量が得られている。図7に暖房期間における排気用立てダクトの換気量の変動と室内外温度差との関係を示す。排気用立てダクトの換気量は温度差が10℃以下のとき80m<sup>3</sup>/h付近で一定になっている。温度差が10℃以上では、温度差の増加と共に、換気量も大きくなる。温度差20℃以上では、換気量は120m<sup>3</sup>/h(必要換気量の1.5倍)以上のケースが現れており、換気量を押さえる工夫が必要となる。

#### まとめ

ハイブリット換気システムを開発するを目的とした研究の概要と計算例について報告した。補助ファンの使用により、換気量は80m<sup>3</sup>/h以上確保されるが、室内外温度差が20℃以上となり、換気量を押さえる工夫が必要となることが分かった。

謝辞 本研究は、科学技術庁科学技術振興調整費生活・社会基盤研究 生活者ニーズ対応研究「室内化学物質空気汚染の解明と健康・衛生居住環境の開発」(研究代表者：東京大学 村上周三教授)の一環として行ったものである。



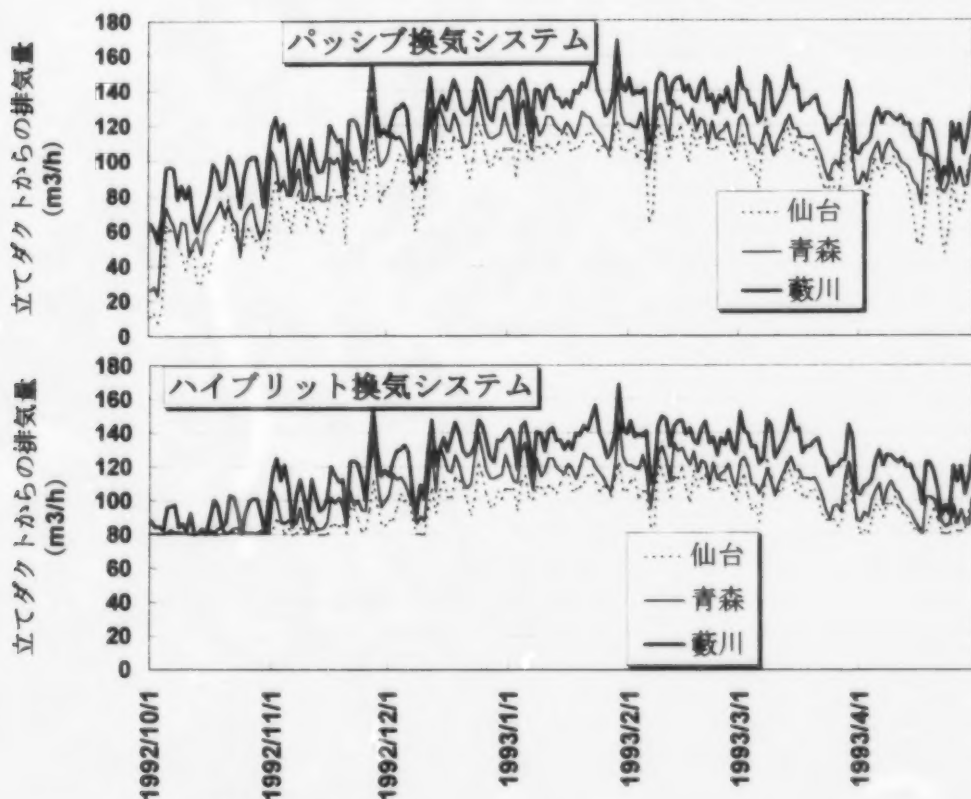


図6 暖房期間における立てダクトからの排気量

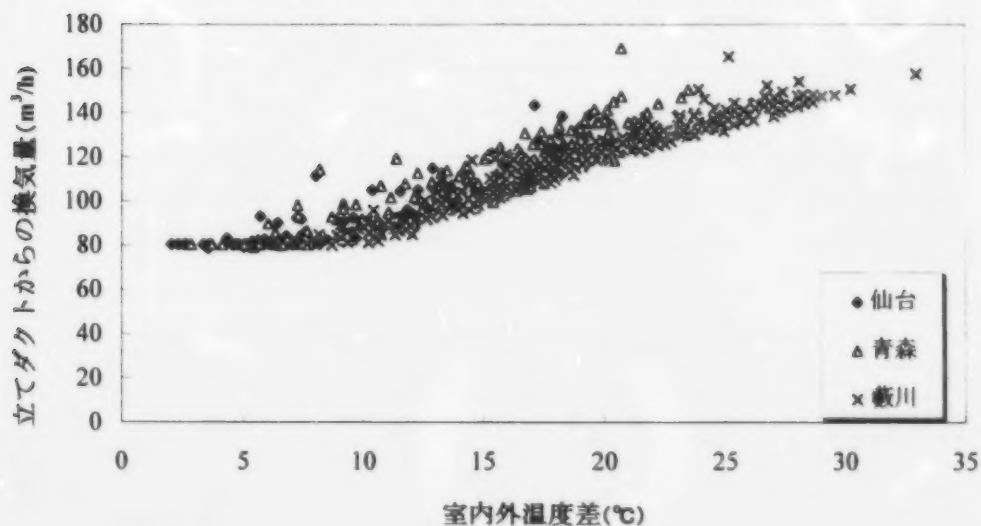


図7 立てダクトからの排気量と室内外温度差との関係 (ハイブリット換気システム)

# Passive Ventilation system with Crawl Space Heating For Airtight Japanese Conventional Wooden Houses

Akira Fukushima\*, Yoshinori Honma\*, Masamichi Enai\*\* and Noboru Takasugi

\* Cold Region Housing and Urban Research Institute, 24-ken 4-1 nishiku Sapporo 063-0802

\*\* Hokkaido University, N-13 W-8 Kitaku Sapporo 060-8628

\*\*\* Miyazawa Kogyo, N-7 W-4 Kitaku Sapporo 060-0807

## 1. Introduction

Basic ideas for the building technology of Japanese wooden houses are totally different from Nordic country and Canada. "Think of summer first" is the theory for the Japanese wooden house construction. What it means is to make whole construction expose to the air by making slits all over the house. "TATAMI", Japanese traditional floor material is most typical. Air and moisture pass through the "TATAMI" easily as if it does not exist and contribute to the durability and indoor airing. As the idea of the slit ventilation is applied to every parts of building, indoor air stagnation is eliminated and whole construction is exposed to the air.

The target of our project is to establish the passive ventilation system with fresh air intake through crawl space for preheating. Utilization of crawl space and conventional wooden structure for the floor and partition wall will regain the inherited excellent quality of Japanese house building technology to the modern Japanese house, as a result of our project. There must be hesitation against the idea of supplying fresh air through the crawl space. However, certain amount of indoor air has come through crawl space in ordinary Japanese wooden single family house. How much difference on the air quality between indoor and crawl space separated with leaky non-insulated floor construction? It like existing in the air to stand on the floor in Japanese conventional wooden house. As a result, passive ventilation system we propose will be the ideal technique to produce good indoor air environment.

In this paper, the application of passive ventilation with crawl space heating is studied through measurement of practical house and simulation with COMIS.

## 2. Planning of ventilation and heating

Preheating of fresh air supply is important for ventilation system of the house in cold region. In case of Passive ventilation with fresh air intake through crawl space, it is easy to preheat cold fresh air harmless on indoor thermal condition. As one of the system to preheat the fresh air, this paper presents central heating system only by heaters set up in the crawl space using warm air circulation among the crawl space, the wall cavity and the space under the 2<sup>nd</sup> floor. On the crawl space heating system there are advantages as follows.

- Good space utility in the room because there is no heater except crawl space
- Less number of heaters compares to ordinary central heating system.
- Indoor thermal comfort similar to low temperature radiant heating like floor heating system, because surface temperature of floor, ceiling and partition wall is little higher than indoor air by warm air circulation.

It is important for heating design how to make up the natural air circulation in the house, because crawl space heating system is one kind of air heating. This system requires vertical air circulation route both of upward for hot air and downward for return. Cavity partition wall in Japanese conventional wooden houses is useful for making hot air circulation. As a result, proper arrangement of cavity walls, floor openings and the place of heaters in the crawl space are

required. Fig.1 shows details for Passive ventilation system with Crawl space heating. They show that building itself is main component of heating and ventilation system.

### 3. Application for the practical house

Fig.2 shows the experimental house applied passive ventilation system with crawl space heating. Measurement results of air circulation and temperature are shown in Fig.3(section). Ventilation rate is designed as single room model to be  $80\text{m}^3/\text{h}$  at 20degrees of indoor and outdoor temperature difference. Electric Heaters with night setback heat storage are set up in the crawl space under the closet next to master bedroom. Hot air exhausted from heaters is conducted to the bottom of cavity wall. Warm air circulates to the space under 2<sup>nd</sup> floor and the living room by natural convection.

Measurement results show that air-flow rates of exhaust and intake are about  $90,80\text{ m}^3/\text{h}$ , which are nearly design value. Concerning about air circulation, airflow rate to living room from the space under 2<sup>nd</sup> floor was about  $165\text{ m}^3/\text{h}$ , and  $400\text{ m}^3/\text{h}$  returned to crawl space directory from the space under 2<sup>nd</sup> floor. Around  $400\text{ m}^3/\text{h}$  circulated between 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> floor. As a result, favorable air circulation without any extreme air flow realized in the whole house.

Room temperature is regulated with thermostat set up in the living room. Temperature in the living room was about  $20^\circ\text{C}$ . Floor surface temperature was little different depend on places, but kept around  $24^\circ\text{C}$ . It is like low temperature floor heating system.

### 4. Evaluation by COMIS Simulation

COMIS model simulations were done to evaluate the system. Fig.4 shows calculation model, which is qualified as standard house by AIJ. Leakage value n50 is 2 ach and the cracks are equally distributed according to the height. The ventilation systems are PSV, MEO with upper air inlets, MEO with Lower air inlets, MES, and Passive Ventilation proposed in this paper. Every systems have no local fans. The period of simulations is November to April.

Airflow rates are maintained  $120\text{m}^3/\text{h}$  (0.5 ach) almost whole period in every systems except PSV, which maintains  $120\text{m}^3/\text{h}$  at 70% of the period and shows lower than  $80\text{ m}^3/\text{h}$  at 10% of the period. Fig.5 shows airflow rates of each room. Passive ventilation system with fresh air supply through crawl space realizes best balance as well as MES. The reason is that the crawl space and the space under 2<sup>nd</sup> floor work as air supply chamber. As a result, fresh air supply through crawl space is effective for good air distribution as well.

### 5. Conclusion

Airflow fluctuation has been understood as serious disadvantage of natural ventilation system. On the contrary, proposed system maintains design value  $\pm 20\text{m}^3/\text{h}$  in 80% period of heating season. It means that this system has enough stability for practical use. Japanese conventional wooden house construction, which make slits all over the house, is effective for good air distribution. Heaters set up in the crawl space make indoor thermal condition comfortable like low temperature floor heating.

Final goal of our research project is to realize the good use of distinctive characters of Japanese conventional wooden house construction on the airtight house. Establishment of Japanese own airtight house building technology is expected based on the house airtight technique imported from Nordic country and Canada to cope with cold climate and energy conservation. And we hope our project could offer the clue to that.

### 6. reference

IEA/annex27, Report for Japan 1995-1997, Institute of Building Energy Conservation

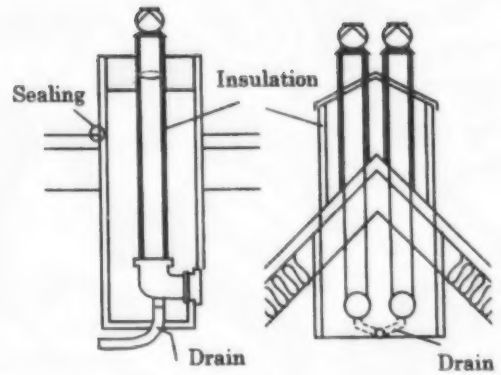
## Exhaust Stack



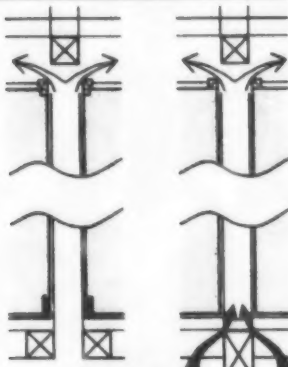
Insulated Stack



Swedish Stack Top

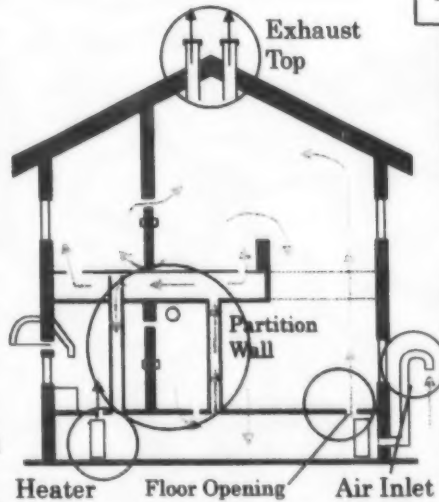


## Partition Wall Cavity

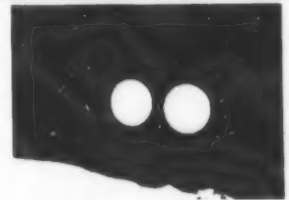


DoubleBeam

Conventional Structure



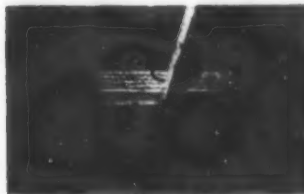
## Natural Fresh Air Inlet



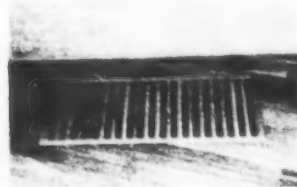
Inlet on the Wall



Inlet Grill on the Basement wall



Bottom of Partition wall Cavity

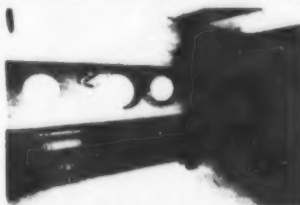


Floor Opening



Inlet from Underground Tube

## Heater in the Crawl Space



Water Heater

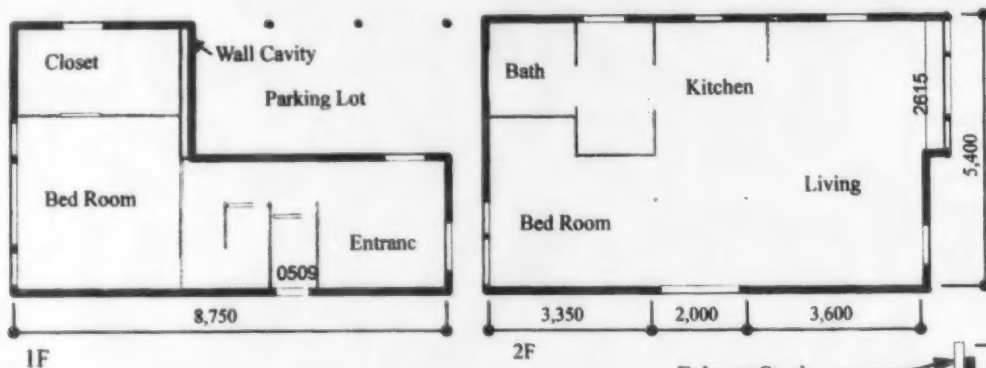


Electric Heater with Night Setback



Inlet Tube

Fig.1 Concept and Detail of Passive Ventilation with Crawl Space Heating



Floor Area: 80 m<sup>2</sup>  
 Number of Occupants: 2  
 R-Value: 1.3 w/m<sup>2</sup>deg  
 Airtightness: 3.0 ach @ 50

Fig.2 Plan of Experimental House

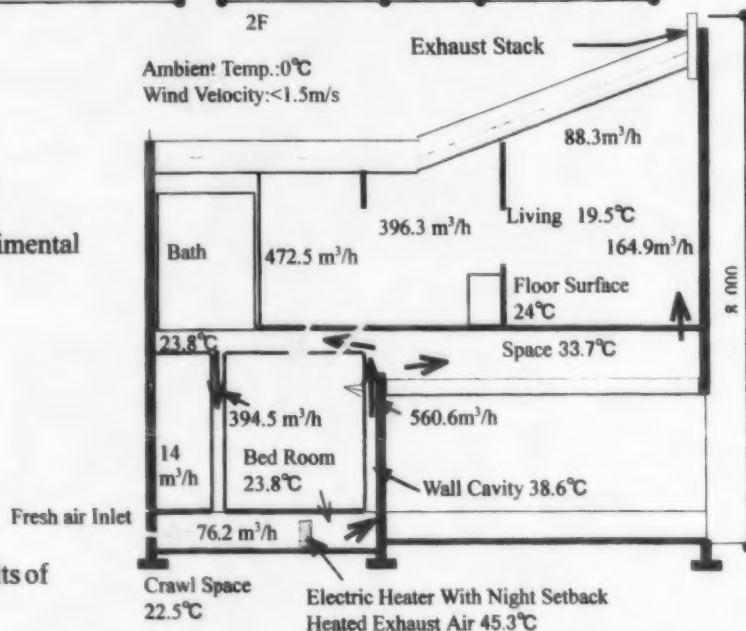


Fig.3 Section and results of measurement



Fig.4 Simulation Model

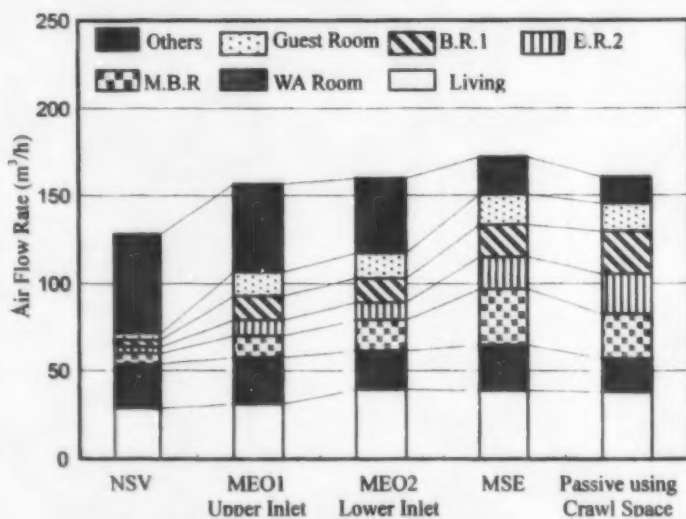


Fig.5 Air Flow Rates of Each Spaces on Various Ventilation Systems



# 日本の在来木造住宅における気密化と パッシブ換気・床下暖房システム

福島 明\*, 本間義規\*, 絵内正道\*\*, 高杉 昇\*\*\*

\* 北海道立寒地住宅都市研究所, 063-0802 札幌市西区 24 軒 4-1

\*\* 北海道大学, 060-6828 札幌市北区北 13 西 8

\*\*\* 宮澤鋼業株式会社, 060-0807 札幌市北区北 7 西 4

## 1. はじめに

日本の在来木造住宅は、住宅建築技術の方向が欧米の住宅とは根本的に異なる。「夏を旨とすべし」とは日本における住宅づくりの教えである。その意味するところは、意図的にあらゆる部分に隙間を作り、空気の外と内との区別を徹底的になくすることを目指すことである。床に使われる畳は最も特徴的で、床下からの空気を速やかに通すことで耐久性を保ちながら室内の通風にも寄与している。こうした隙間換気考え方は住宅全体におよび、室内に空気のよどみをなくし、絶えず全ての部位が空気にさらされる構造を作り出している。

我々が提案してきたパッシブ換気の要点は、基礎断熱した床下空間を冷外気の予熱に使った自然換気方式である。床下を利用し、内壁や床周りを従来通りの工法で作りに上げることによって、受け継がれてきた優れた特性を断熱・気密住宅に取り戻すことができると考えた。床下空間から室内に空気を導入することに抵抗もあるが、もともと日本の住宅では室内空気の相当量が床下から供給されてきたし、断熱や気密層がなく、隙間だらけの床で仕切られた室内と床下空間との間にどれほどの違いがあるのだろうか。人が日本の在来木造住宅で床の上に立つということは、空気環境としては空中に存在することに近いのだから、提案するパッシブ換気が、人間を取り巻く室内環境を作り出すうえで、理想的な手法になり得ると考える。

本報告では、パッシブ換気・床下暖房方式の実住宅への適用について、実測と COMIS を使ったシミュレーションにより検討した。

## 2. 換気・暖房計画の概要

寒地住居特有の換気の要点は、取り入れ冷外気の予熱である。床下を利用したパッシブ換気では、一旦床下に冷外気を取り入れることで、居住空間の温度環境を損なうことなく簡単に給気予熱が可能である。我々は、給気予熱に床下への暖房機の設置を提案してきたが、本報告では、床下に放熱器を集中的に配置して、住宅全体の暖房を行う手法を検討している。床下暖房には、室内に放熱器を置く必要がなくなるため居室スペースを有効活用できること、放熱器の設置台数が各室に配置する場合よりも少なくできること、また温風暖房器の場合でも室内に直接吹き出す方式ではなく、床や 1 階天井、2 階床、壁などの表面温度を高めることにより、ふく射暖房に近い穏やかな温度環境を得られること、など多くの利点を有する。

床下暖房は温風暖房の一種なので、空気の対流をどう作り出すかに設計の要点がある。間仕切壁を利用して暖房空気を循環させることが必要で、床下暖房器で作られ出る高温空気を上昇気流として上方へ流す往きのルートと、床下へ戻す還りのルートの、2 つの縦経路が必要となる。この結果、暖房器の設置位置や中空間仕切壁の位置、床面開口位置及び面積のバランス設計が重要となる。図 1 は、パッシブ換気・床下暖房のコンセプトと各部の詳細である。建物自体が暖房・換気設備を構築する主体となることが理解できよう。



### 3. 実住宅への適用

パッシブ換気・床下暖房方式を図 2, 3 に示す実住宅に適用し、その特性を検討した。図 3 (断面図) 中に住宅内部の空気循環量の測定結果と各部の温度測定結果を示す。住宅全体を単室モデルとして、内外温度差 20deg で 80m<sup>3</sup>/h になるように給排気口を設計した。暖房は床下に設置した蓄熱式電気暖房機を利用して行い、熱搬送は空気の流れにより行う。温風吹出し口の近くに中空壁を設け、天井裏および 2 階への空気循環を図っている。

排気筒からの排気量と給気量それぞれ約 90、80 m<sup>3</sup>/h とほぼ設計換気量とほぼ等しくなった。空気循環量は、天井裏から 2 階居室への空気吹出し量が約 165 m<sup>3</sup>/h、床下空間と天井裏との相互循環量が約 400 m<sup>3</sup>/h、2 階と 1 階との室内相互の循環量が約 400m<sup>3</sup>/h と、ほぼ予想された空気の流れとなった。この結果、室内の快適性を損なうような著しい空気の流れは生じておらず、住宅全体の空気循環が良好に行われていると言えよう。

室温制御は、居間の床付近に設けたサーモスタットにより制御しており、居間の室温は、設定室温の 20℃となった。床表面温度は場所により違いはあるが、ほぼ 24℃程度に維持されており、低温床暖房とよく似た温度性状となった。

### 4. COMIS による評価

換気システムを評価するために、COMIS モデルを用いシミュレーション計算を行った。計算対象は図 4 の建築学会標準モデルである。気密性能は 1cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> とし、高さ方向に均等分布とした。換気方式として、自然換気 (壁面換気口のみ)、強制排気 2 方式 (壁面給気口高さが上と下)、強制給排気、床下利用のパッシブ換気について計算した。

換気量は、自然換気で 120m<sup>3</sup>/h 以下の日数で約 70%、設計換気量 80 m<sup>3</sup>/h を下まわる日数は約 10% ある。その他の方式はほぼ全期間で 120m<sup>3</sup>/h を満足した。図 5 は、外気導入量の比較である。4 つの換気方式の中では、床下空間を利用したパッシブ換気方式が、強制給排気方式と並んで室間のばらつきが少なくなっている。これは、床下や天井裏空間が給気チャンバーの役割を果たすため、床下給気方式が室内の空気分布の均質化にも大きな効果を持つ事を示している。

### 5. おわりに

パッシブ換気と床下暖房を組み合わせ、寒冷地に建つ住宅を対象に多面的な検討を行った。この結果、換気の不安定性が自然換気の難点とされてきたが、時間変動は大きくとも長期的には 80%以上の期間で設計値±20m<sup>3</sup>/h 程度となる安定した換気量を実現し、パッシブ換気が実用上十分な安定性を確保できることを示し得た。また、建物全体のうまく隙間を作る日本の在来木造工法が、住宅内の良好な空気分布に、大きな役割を果たすことを示した。次に床下空間を利用した暖房方式について、床下に暖房機を持ち込むことで、暖房方式によらず穏やかで輻射暖房に近い暖房環境を実現した。また、床下に暖房機を移すことによって、暖房工事の簡素化や維持管理の容易さ、冬季の温度環境を損なうことの無い日本独特の掃き出し窓、を実現した。

振り返ると、これらの研究の方向は、日本の在来木造住宅の特性をいかに気密化住宅で生かしていくかという命題に収斂する。省エネルギーや寒冷な気候条件への対応のために導入した欧米の気密化技術を土台に、日本独自の住宅のあり方を探るきっかけを提供できたと考える。

### 6. 参考文献

IEA/ANNEX27 国内委員会報告書、平成 7-9 年、住宅・建築省エネルギー機構

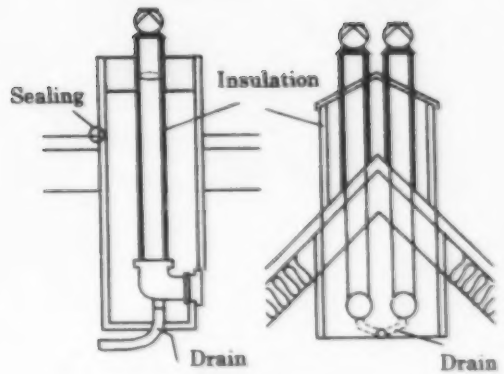
## Exhaust Stack



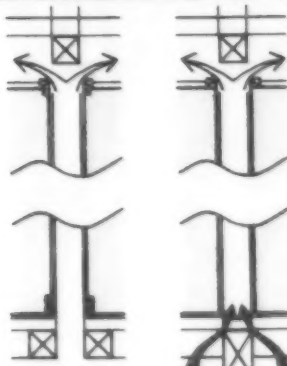
Insulated Stack



Swedish Stack Top

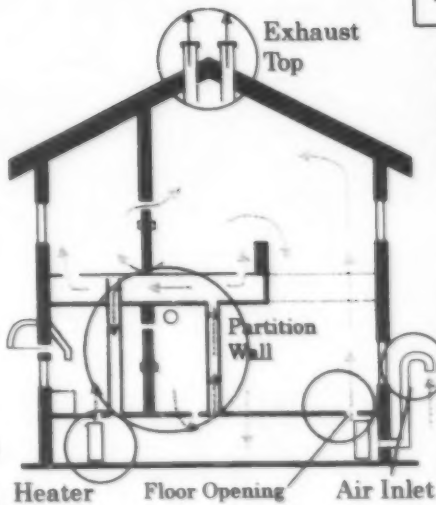


## Partition Wall Cavity



Double Beam

Conventional Structure



## Natural Fresh Air Inlet



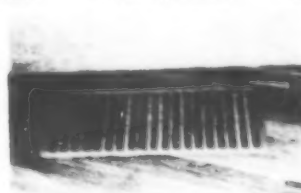
Inlet on the Wall



Inlet Grill on the Basement wall



Bottom of Partition wall Cavity



Floor Opening

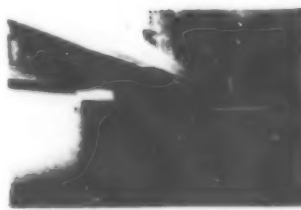


Inlet from Underground Tube

## Heater in the Crawl Space



Water Heater

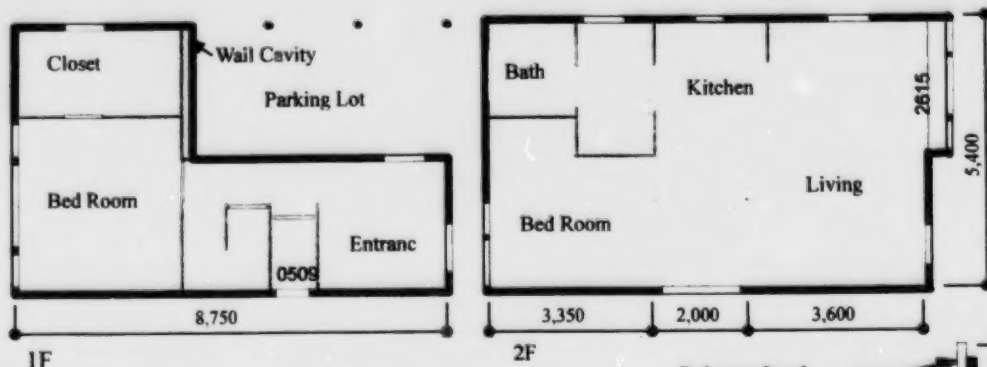


Electric Heater with Night Setback



Inlet Tube

Fig.1 Concept and Detail of Passive Ventilation with Crawl Space Heating



Floor Area: 80 m<sup>2</sup>  
 Number of Occupants: 2  
 R-Value: 1.3 w/m<sup>2</sup>deg  
 Airtightness: 3.0 ach n50

Fig.2 Plan of Experimental House

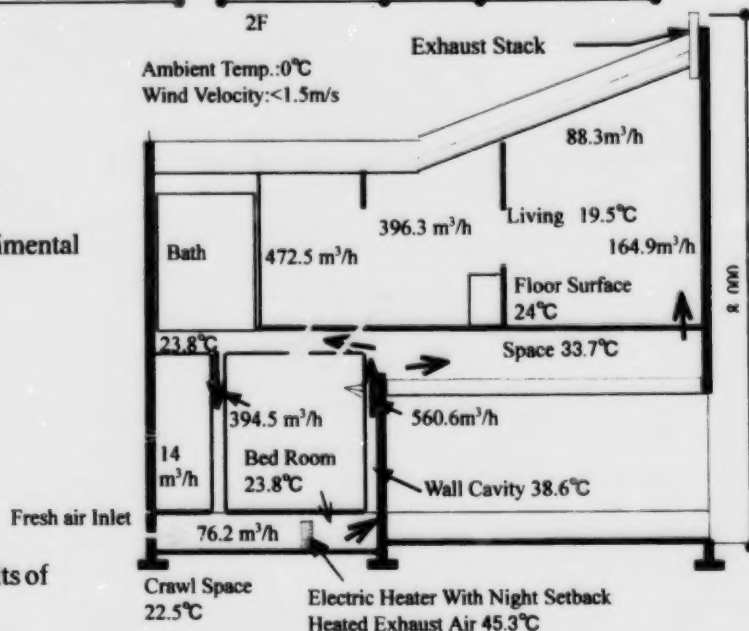


Fig.3 Section and results of measurement

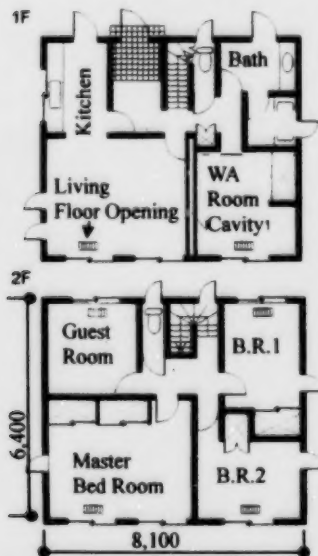


Fig.4 Simulation Model

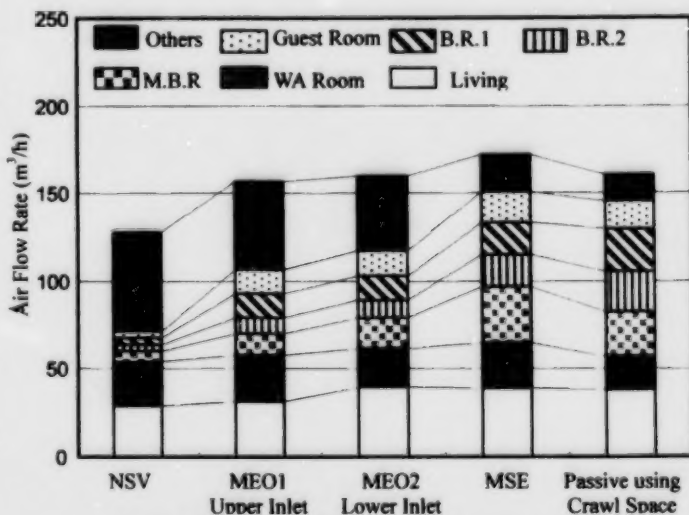


Fig.5 Air Flow Rates of Each Spaces on Various Ventilation Systems

# Improvement of Exhaust-Only Ventilation System for Detached Houses by Using Partition Fans

Takao Sawachi, Building Research Institute, Ministry of Construction  
Youji Migou, Sekisui Chemical Co., Ltd.

## 1. Introduction

Because of the current trend toward higher airtightness of detached houses, the use of an effective ventilation system has been an urgent demand. The duct type exhaust-only ventilation system is one of highly practical ventilation systems. When it is installed in a highly airtight two-storied house (specific leakage area  $\leq 2\text{cm}^2/\text{m}^2$ , that is,  $n_{50} \leq 3\text{h}^{-1}$ ) with the temperature difference across the envelope not exceeding 30 K, an appropriate amount of fresh air flows into each of the rooms, and there is very little possibility that the contaminated room air, which may contain a lot of moisture, flows out from the gaps in the second floor envelope. However, if this type of system is provided in a house of medium airtightness ( $2\text{cm}^2/\text{m}^2 < \text{specific leakage area} \leq 6\text{cm}^2/\text{m}^2$ , that is,  $3\text{h}^{-1} < n_{50} \leq 8\text{h}^{-1}$ ), some problems may arise under the effect of buoyancy-driven ventilation (stack effect), such as excessive air feed in rooms in the first floor and flow-out of indoor polluted air through the cracks in the envelope of the second floor rooms<sup>1), 2), 3)</sup>. Effective solutions for these problems are required.

Taking, as a basic ventilation scheme, the non-duct exhaust-only system which features a simple composition and a low initial cost, the authors implemented a system design resorting to numerical simulation<sup>4)</sup> and validation tests with a full-scale model house<sup>5)</sup>. Through these studies, the applicability of this type of ventilation system to houses of medium airtightness was verified as discussed below.

## 2. Configuration of the non-duct exhaust-only ventilation system with partition fans

The basic configuration of the ventilation system is shown in Fig. 1. There are a range hood fan in the kitchen and exhaust fans in the stale air enclosures (bath room, lavatories) in the first and second floors. These fans discharge air to the outdoor, thereby maintaining all the rooms in the house negatively pressurized. Consequently, a significant volume of air flows from the rooms to the different exhaust fans. In contrast, the partition fans adjust the air pressures in the rooms and staircase/hall, surpassing the stack effect; consequently, air flows from the second floor rooms to each exhaust fan via the staircase/hall.

## 3. Evaluation method of the ventilation system

Fig. 2 shows an example of housing plan virtually incorporating an exhaust-only ventilation set-up. The house is a two-story building of  $150\text{ m}^2$  total floor area. The layout of the first floor

includes LV, DK and BA, which represent living room, dining kitchen and bathroom/lavatory, respectively. The second floor includes BR1/BR2 and SC, which assume bedrooms and staircase/hall respectively. An exhaust fan for outdoor discharge is provided in DK, BA and in the second floor lavatory respectively. A fan is provided in partition walls between SC and each room (LV, DK, BR1 and BR2), to draw air from each room to the staircase/hall.

The numerical simulation used a ventilation network program with presupposed pressures, involving as parameters, airtightness (AT), crack distribution, indoor-outdoor temperature difference ( $\Delta T$ ), outdoor wind direction, wind velocity and site conditions. Considering the fact that a medium airtightness is required in relatively mild climate, two grades of airtightness are selected,  $AT=5\text{cm}^2/\text{m}^2$  ( $n_{50}=6.5\text{h}^{-1}$ ), and  $AT=3\text{cm}^2/\text{m}^2$  ( $n_{50}=3.9\text{h}^{-1}$ ). With  $AT=5\text{cm}^2/\text{m}^2$ , the conventional nonduct exhaust-only ventilation is affected by stack effect. With  $AT=3\text{cm}^2/\text{m}^2$ , such influence is less noticeable.

As crack distribution, two types were considered; one is "even" and the other is "uneven". The former distributes the total effective leakage area proportionally to the floor area of each room. In the latter distribution, the leakage area in DK, BA and SC is twice that of other portions, assuming an actual house where greater cracks exist in these spaces, because a pipe shaft or the like is usually provided there.

The temperature difference across the envelope ( $\Delta T$ ) was set at four values, 20K, 15K, 10K and 5K. The outdoor air velocity was set to three different levels, 0m/s, 3m/s, 5m/s. The wind direction was assumed to be constant. The house was assumed to be located in the suburbs.

The numerical simulation results were evaluated for each of the items A to I and on the basis of the judgment criteria in Table 1. This analytical study assumes that the ventilation air requirement per head for each room be  $20\text{m}^3/\text{h}$  (5.6 l/s), and that DK would be occupied by four adult persons, and LV, BR1 and BR2 by two adult persons respectively.

Based upon the evaluation results, the authors determined the configuration of a most suitable exhaust-only ventilation system, and implemented under the same conditions validating tests with the full-scale model house constructed in an artificial climate. The reference<sup>5)</sup> shows the characteristics of this model house. Taking into account that there is some difference in crack distribution between the house plan entered in the computer simulation and the full-scale model house, numerical analysis was conducted again after the experiment for comparison between analytical and experimental results. In addition, an exhaust-only ventilation system with air supply fans mounted in the envelope was evaluated in the same manner for comparison with the conventional nonduct exhaust-only ventilation system.

#### **4. Results and Discussion**

The preset values of parameters and analytical evaluation results are summarized in Table 2.



For the exhaust rates in the table, the positive values mean the exhaust from indoor to outdoor, and for the ventilation rates of partition fans, the positive values indicate the flow from each room to SC, while the negative values mean the flow from SC to each room.

#### *4.1 Ventilation characteristics with $AT=5\text{cm}^2/\text{m}^2$ ( $n_{50}=6.5\text{h}^{-1}$ ) and "even" crack distribution (No. 1 to No. 20)*

The case of No. 2 is a scheme aiming at generating airflow from the second floor to the first floor, by pressurizing SC with the partition fans of the second floor, and at the same time, by depressurizing SC with the partition fans of the first floor. However, reverse flow occurs to SC from the dirty air zones such as DK and BA which are equipped with an exhaust fan, and there is a great leak-out through the envelope of BR1 and BR2. In addition, no downstream occurs from the second floor to the first floor, demonstrating that the stack effect still works significantly.

For the case of No. 17, the air discharge of  $140\text{m}^3/\text{h}$  towards SC was produced, by installing a partition fan on BR1 and BR2 only. Because of this large rate of discharge, the outflow to the outdoor from BR1 and BR2 was reduced to less than  $10\text{m}^3/\text{h}$ , limiting substantially the stack ventilation from the first floor to the second floor. At the same time, it was possible to prevent the reverse airflow to SC from the dirty air zones such as DK and BA as well as to control dispersion of polluted air considerably. Excessive air inflow to DK could be reduced, and the problem such as cold feeling discomfort when exposed to the inflow air is expected to be solved.

#### *4.2 Ventilation characteristics with $AT=5\text{cm}^2/\text{m}^2$ ( $n_{50}=6.5\text{h}^{-1}$ ) and "uneven" crack distribution (No. 21 to No. 42)*

No. 29 illustrates the analytically characterized air flow pattern of the case where the ventilation system is the same as No. 17, but with the "uneven" crack distribution instead of "even". No. 42 shows the ventilation characteristics of an improving solution when  $\Delta T$  is small. Since, in the case of No. 29, larger cracks were provided in DK, SC and BA, the air inflow to these three spaces increases, while it decreases in LV, BR1 and BR2. But both increase and decrease are within the allowable range, so this improvement proves to be effective. For the construction project of an actual house, unless a special airtightness scheme is utilized, greater cracks may be produced in the complicated portions such as pipe shaft and staircase, which may result in more significant unevenness of crack distribution than that of this numerical simulation. It is therefore necessary to study what degree of unevenness in airtightness should be presumed for actual buildings, and to investigate whether or not airtightness of a certain degree should be provided at specific locations in buildings.

The case of No. 42 is the ventilation characteristics with  $\Delta T=5\text{K}$ . Because the stack effect is smaller with this  $\Delta T$  level, the fresh air inflow decreases in LV and DK, while it increases in BR1 and BR2, if the partition fans are operated with an air flow rate of  $140\text{m}^3/\text{h}$ . Accordingly, the flow rate of the partition fans is reduced to  $100\text{m}^3/\text{h}$  to make up the insufficient air supply in LV and DK. The condition  $\Delta T=5\text{K}$  corresponds to the seasons of spring and fall, viz., transition seasons, when windows in the house are opened frequently for promoting the aeration in the



whole house, so there may be no need to change the air rate of the partition fans minutely. For the seasons of a small  $\Delta T$ , option of halting partition fans only is worth studying.

#### *4.3 Ventilation characteristics with $AT=3\text{cm}^2/\text{m}^2$ ( $n_{50}=3.9\text{h}^{-1}$ ) (No.43 to No.49)*

Since  $AT$  is smaller in No.44, the influence of the stack ventilation becomes small, and the in-room depressurizing effect of the exhaust fans works. Consequently, the partition fan air rate is reduced, in the same manner as in the case with  $\Delta T=5\text{K}$  and  $AT=5\text{cm}^2/\text{m}^2$  ( $n_{50}=6.5\text{h}^{-1}$ ) to limit pressurization of SC. On the other hand, since the specific leakage area is smaller, it is impossible to augment the air supply to LV by simply decreasing the partition fan air rate. Therefore, the exhaust from DK is increased by  $20\text{ m}^3/\text{h}$  (to  $139.6\text{ m}^3/\text{h}$ ) for enhancing the air flow in LV, SC and DK, so that the air supply to LV is supplemented.

#### *4.4 Evaluation of the influence of the outdoor wind velocities (No.50 to No.52)*

No.52 uses the same ventilation system as No.17, receiving wind normal to the DK and BR2 east external walls. Because  $AT=5\text{cm}^2/\text{m}^2$  ( $n_{50}=6.5\text{h}^{-1}$ ), the impact of wind is significant; when the wind velocity increases from  $0\text{m/s}$  to  $5\text{m/s}$ , the air inflow to DK becomes about 1.5 times larger, and that to BR2 about 2.2 times greater, while the air inflow to SC is reduced to about one-third.

### **5. Designing flow of the ventilation**

As described in the previous chapters, the ventilation characteristics were investigated, by changing the envelope airtightness, indoor-outdoor temperature difference and pattern of forced air supply and exhaust, to determine the most suitable configuration for improving the exhaust-only ventilation performance. However, to facilitate the integration of this improving solution into an actual house, it is necessary to summarize the judgment process with the above parameters in the form of design flow easily utilizable for designers, architects and specifiers. For this purpose, the data and knowledge obtained in the study is simplified to the allowable maximum extent, to formulate a design flow as follows.

Fig. 3 shows a flowchart for designing the ventilation system. This designing flowchart aims at simplifying design works, by minimizing the number of parameters. The requirements of ventilation differ with national and district codes and applicable regulations, so the design flow shown here is merely an example. Nevertheless, the same procedure and same concept which are used for this designing flow could be applied to various cases.

Four design parameters are involved. The specific leakage area can be approximated from the construction method of a house. If possible, estimation accuracy should be raised by implementing physical airtightness measurements. The total floor area and room layout can be known easily referring to the plans. The indoor-outdoor temperature differences can be known by reading the district climatic data. The door undercut is necessary for leading the air flowed into each room to its ventilation fan.

The design flowchart illustrated here is an example of design steps. The designer or specifier needs no special knowledge, because he or she can simply determine the configuration of ventilation system by entering the investigated parameter values in the flowchart.

This simple procedure is sufficient to establish an adequate exhaust-only ventilation configuration. After having installed equipment at predetermined positions, the ventilation rate is adjusted with a simple control switch, etc., and through verification by trial operation, installation of the ventilation system is completed.

## **6. Summary**

Numerical simulation was implemented to improve the exhaust-only ventilation performance. If a conventional non-duct exhaust-only system is applied to a house of medium airtightness, the ventilation pattern is noticeably affected by the stack effect. However, a non-duct exhaust-only ventilation system was constructed, which enables well-balanced air feeding, less influenced by the size of specific leakage area and the indoor-outdoor temperature difference, by operating partition fans to adjust the pressure in the staircase/hall through which the first and second floors communicate with each other. As a goal in the near future, it is necessary to further our study for developing a practical system, including also countermeasures against noise of partition fans.

## **Acknowledgment**

We would like to express our thanks to Mr. Hironao Seto, Building Research Institute, Dr. Norio Shimizu and Mr. Takakatsu Yamanaka, Better Living Tsukuba Test Laboratory, for their cooperation and efforts they extended to this experiment.

## **References**

- 1) Yoshinori Taniguchi et al; A New Experimental Approach for the Evaluation of Domestic Ventilation Systems, Part 2, pp585-587, ASHRAE Transactions 1998 pt1
- 2) Takakatsu Yamanaka et al.; Studies on the ventilation of detached houses in mild climate, Part 1 Ventilation of detached houses when localized ventilation is operated. Proceedings of SHASE (I), pp 9-12, August 1998.
- 3) IEA, ECBCS, Annex27 "Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems" Report (Draft), Lars-Goran Mansson (Editor)
- 4) Kenji Asano; Study on the ventilation planning of houses of high airtightness, Proceedings of the Conference, Architectural Institute of Japan, Part 2 Experimental Study on the ventilation system of houses
- 5) Takao Sawachi et al; A New Experimental Approach for the Evaluation of Domestic Ventilation Systems, Part1, pp570-584, ASHRAE Transactions 1998 pt1

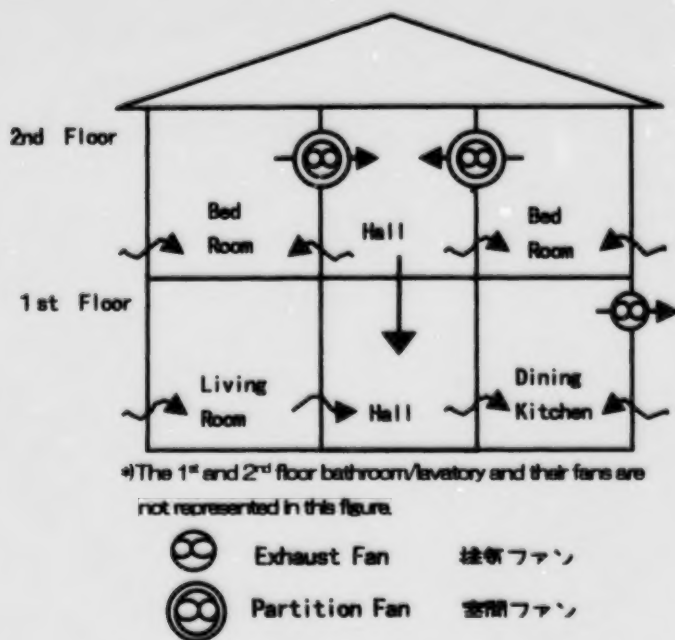


Figure 1 Basic composition of non-duct exhaust only ventilation system.

図1 空間ファンを用いた省ダクト排気セントラル換気方式の基本構成

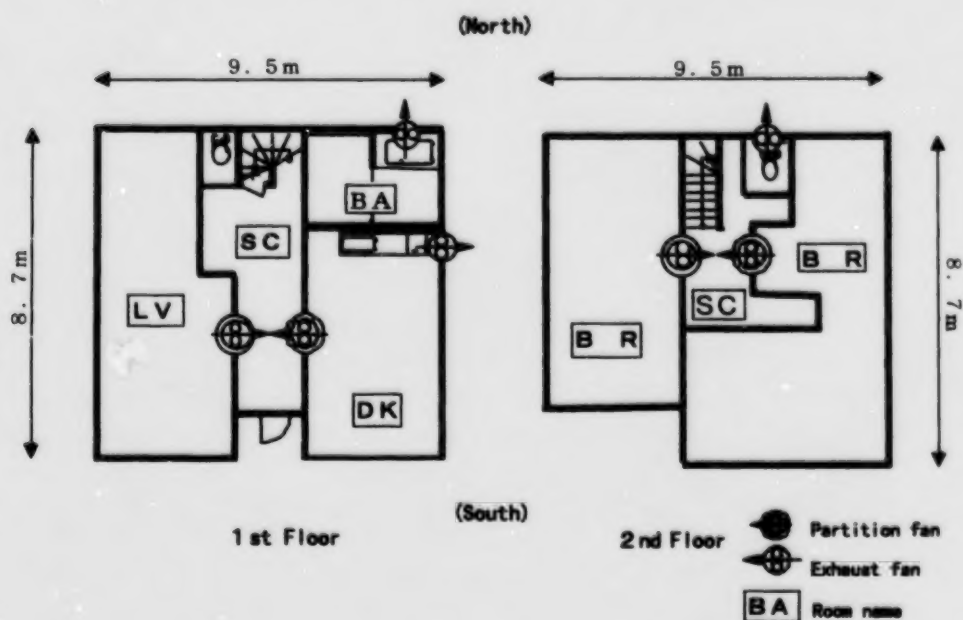
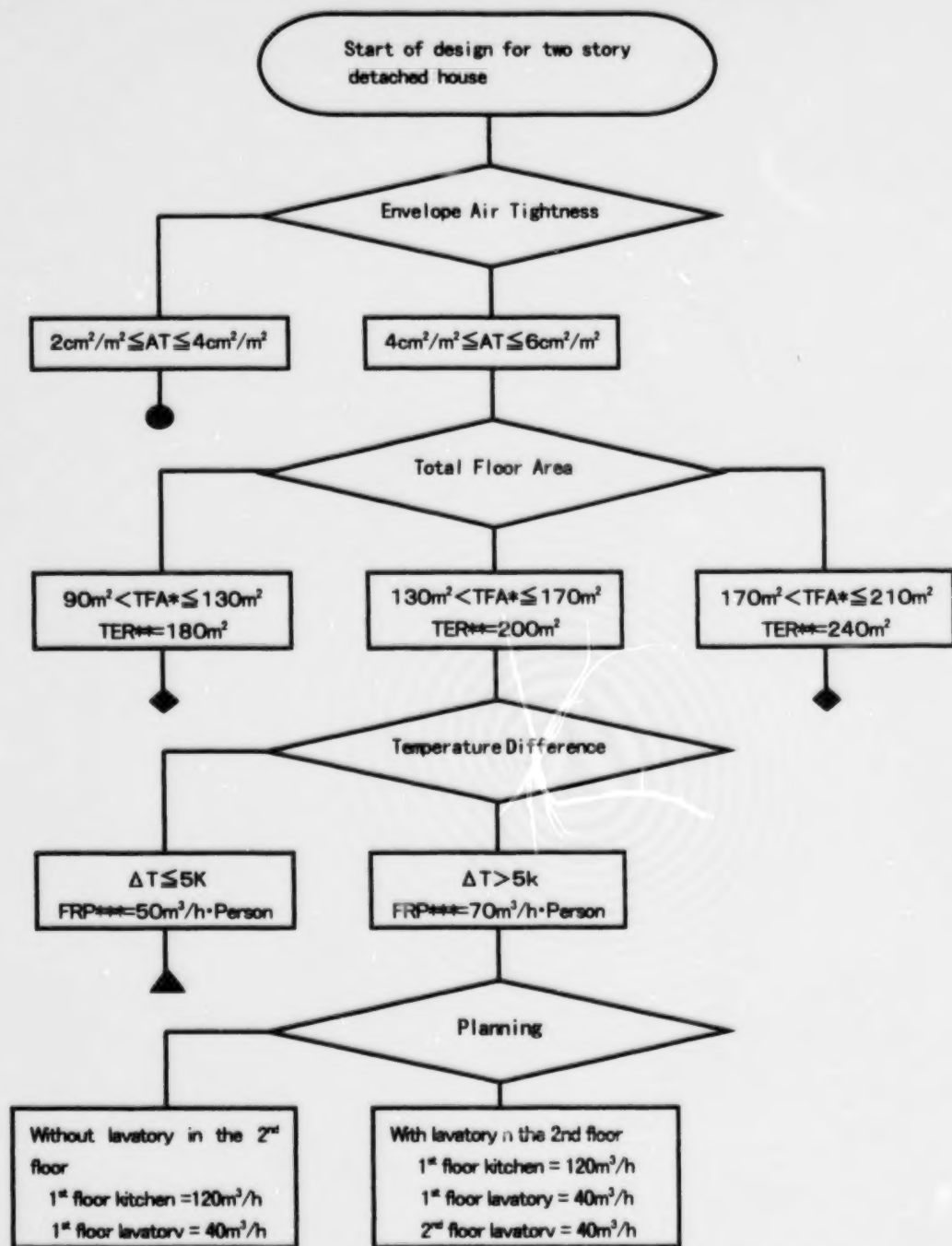


Figure 2 Planning sample of setting ventilation system.

図2 換気システム評価において想定した住宅プラン



\*TFA: Total Floor Area \*\*TER: Total Exhaust Rate \*\*\*FRP: Flow Rate of Partition Fans

● To be followed by "total floor area", "indoor/outdoor temperature difference" and "floor plan"

◆ To be followed by "indoor/outdoor temperature difference" and "floor plan"

▲ To be followed by "floor plan"

Figure3. An example of design flow chart of exhaust-only ventilation system with partition fans for detached house

図3 戸建住宅のための空間ファンを用いた排気セントラル方式に関する設計フローの例

表 1 換気回路網計算結果に関する評価項目及び基準

Table 1 Evaluation criteria and items of the numerical simulation

Symbol	Evaluation item	Evaluation criteria			Required air supply
		+	0	-	
A	Air supply from outside to DK	70~90(m <sup>3</sup> /h)	60~70, 90~100(m <sup>3</sup> /h)	~60, 100~(m <sup>3</sup> /h)	80m <sup>3</sup> /h
B	Air supply from outside to LV	35~45(m <sup>3</sup> /h)	30~35, 45~50(m <sup>3</sup> /h)	~30, 50~(m <sup>3</sup> /h)	40m <sup>3</sup> /h
C	Reverse outflow from BA to SC	No	—	Yes	—
D	Outflow from LV to outside	No	—	Yes	—
E	Outflow from BR1, BR2 to outside	No	—	Yes	—
F	Air supply from outside to BR1, BR2	35~45(m <sup>3</sup> /h)	30~35, 45~50(m <sup>3</sup> /h)	~30, 50~(m <sup>3</sup> /h)	40m <sup>3</sup> /h
G	Flow path of outdoor fresh air (outside→BR1, BR2→SC)	Conforming	—	Non conforming	—
H	Flow path of outdoor fresh air (SC→DK, BA)	Conforming	—	Non conforming	—
I	Flow path of outdoor fresh air (outdoor→LV→SC→DK, BA)	Conforming	—	Non conforming	—

表 2 換気回路網計算結果及び表 1 に基づく評価結果

Table 2 Numerical simulation results and evaluation

No.	AT (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) [n <sub>50</sub> (1/h)]	Leakage Distribution	ΔT (K)	Exhaust Rate (m <sup>3</sup> /h)			Flow Rate of Partition Fans (m <sup>3</sup> /h)				Wind Direction	Wind Speed (m/s)	Location	Evaluation									TER * (m <sup>3</sup> /h)	TFP ** (m <sup>3</sup> /h)
				DK	BA	SC	DK	LV	BR1	BR2				A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1	5(6.5)	even	20	100	30	30	-60	-60	30	30	—	0	—	+	+	—	—	—	—	—	—	+	190	180
2	5(6.5)	even	20	130	30	30	-60	-60	30	30	—	0	—	+	+	—	—	—	—	—	—	+	190	180
3	5(6.5)	even	20	130	30	30	-30	-30	30	30	—	0	—	+	+	—	—	—	—	—	—	+	190	120
4	5(6.5)	even	20	130	60	60	-30	-30	30	30	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	250	120
5	5(6.5)	even	20	130	60	60	-30	-30	60	60	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	250	180
6	5(6.5)	even	20	130	30	30	-30	-30	60	60	—	0	—	+	0	+	+	+	+	+	+	+	190	180
7	5(6.5)	even	20	130	30	30	-30	-30	90	90	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	190	240
8	5(6.5)	even	20	130	30	30	-45	-30	90	90	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	190	255
9	5(6.5)	even	20	115	45	30	-30	-45	90	90	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	190	255
10	5(6.5)	even	20	130	60	60	-30	-30	90	90	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	250	240
11	5(6.5)	even	20	130	60	60	-30	-30	120	120	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	250	300
12	5(6.5)	even	20	110	40	40	-30	-30	120	120	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	190	300
13	5(6.5)	even	20	100	45	45	-30	-30	120	120	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	190	300
14	5(6.5)	even	20	110	40	40	-20	-20	120	120	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	190	280
15	5(6.5)	even	20	120	40	40	0	-20	120	120	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
16	5(6.5)	even	20	150	40	0	0	-40	120	120	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	190	280
17	5(6.5)	even	20	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
18	5(6.5)	even	20	110	40	40	0	0	120	120	—	0	—	0	0	+	+	+	+	+	+	+	190	240
19	5(6.5)	even	10	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
20	5(6.5)	even	5	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
21	5(6.5)	uneven	20	130	60	60	-30	-30	120	120	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	250	300
22	5(6.5)	uneven	20	120	40	40	0	-20	120	120	—	0	—	+	0	+	+	+	+	+	+	+	200	280
23	5(6.5)	uneven	20	150	40	0	0	-40	120	120	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	190	280
24	5(6.5)	uneven	20	140	50	0	0	-20	140	140	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	190	300
25	5(6.5)	uneven	20	140	50	0	-20	0	140	140	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	190	300
26	5(6.5)	uneven	20	140	50	0	0	0	160	160	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	190	320
27	5(6.5)	uneven	20	140	50	0	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	190	280
28	5(6.5)	uneven	20	120	40	40	0	0	120	120	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	240
29	5(6.5)	uneven	20	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
30	5(6.5)	uneven	20	120	60	40	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	220	280
31	5(6.5)	uneven	15	120	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	140
32	5(6.5)	uneven	15	120	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	200
33	5(6.5)	uneven	15	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
34	5(6.5)	uneven	10	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
35	5(6.5)	uneven	10	120	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	0	+	+	+	+	+	+	+	200	200
36	5(6.5)	uneven	10	120	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	140
37	5(6.5)	uneven	5	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
38	5(6.5)	uneven	5	120	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	140
39	5(6.5)	uneven	5	120	40	40	0	0	30	30	—	0	—	+	0	+	+	+	+	+	+	+	200	60
40	5(6.5)	uneven	5	150	40	40	0	0	30	30	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	230	60
41	5(6.5)	uneven	5	150	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	230	140
42	5(6.5)	uneven	5	120	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	200
43	3(3.9)	even	20	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	0	0	+	+	+	+	+	+	+	200	280
44	3(3.9)	even	20	140	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	220	200
45	3(3.9)	even	15	140	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	220	200
46	3(3.9)	even	10	140	40	40	0	0	100	100	—	0	—	0	0	+	+	+	+	+	+	+	220	200
47	3(3.9)	even	10	140	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	220	140
48	3(3.9)	even	5	140	40	40	0	0	100	100	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	220	200
49	3(3.9)	even	5	140	40	40	0	0	70	70	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	+	220	140
50	5(6.5)	even	20	120	40	40	0	0	140	140	East	0	Suburb	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
51	5(6.5)	even	20	120	40	40	0	0	140	140	East	3	Suburb	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280
52	5(6.5)	even	20	120	40	40	0	0	140	140	East	5	Suburb	+	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280

\* TER: Total Exhaust Rate \* TFP: Total Flow Rate of Partition Fans

1) Positive exhaust rates represent the flow direction from indoor to outdoor.

2) Positive flow rates of Partition fans represent the flow direction from DK to SC, LV to SC, BR1 to SC, BR2 to SC.



# 室間ファンを用いた戸建住宅用排気セントラル換気システムの改良

澤地 孝男 (建設省建築研究所第五研究部)

御江 陽治 (積水化学工業株式会社)

## 1. はじめに

昨今の戸建住宅の気密性能向上により、適切な換気手段を導入することの必要性が叫ばれている。実用性の高い換気システムの一つにダクト式排気セントラル換気システムがあるが、高気密性(単位面積当たりの相当隙間面積: Specific Leakage area  $\leq 2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  すなわち  $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$ )を有する住宅に設置した場合には、各部屋に適切な量の新鮮外気が導入され、2階外壁の隙間から屋外に向けて湿気を多量に含むことも考えられる室内汚染空気の流出も生じない。一方、中程度( $2 \text{ cm}^2/\text{m}^2 < \text{単位面積当たりの隙間相当面積} \leq 6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  すなわち  $3 \text{ h}^{-1} < n_{50} \leq 8 \text{ h}^{-1}$ )の気密性を有する住宅に設置した場合には、温度差換気の影響を受け、1階居室での過給気や2階居室の外壁の隙間から室内汚染空気が流出するという問題の生じることがあり、改善を必要としている。<sup>1), 2)</sup>

本研究では、導入コストが安く構成の簡素なダクトレス式排気セントラル換気方式を基本にして、シミュレーション<sup>3)</sup>を用いたシステム設計と実大実験住宅<sup>4)</sup>による検証実験を行い、中程度の気密性を有した住宅に対して本換気システムの適合可能性を検証したのでここに報告する。

## 2. 室間ファンを用いたダクトレス式排気セントラル換気システムの構成

本換気システムの基本構成を図1に示す。1階台所のレンジフードファンと1階排気対象室(浴室、トイレなど)の換気扇と2階排気対象室の換気扇とは、屋外に排気して住戸内の全室を負圧に保ち、1、2階の各居室からそれぞれの換気扇への大きな空気の流れを作る。一方室間ファンは、居室と階段・ホールとの気圧の調整を行うことで温度差換気の影響を打ち消し、2階各居室から階段・ホールを経由してそれぞれの排気ファンへの空気の流れを作る。

## 3. 換気システムの評価方法

図2に排気セントラル換気システムの構成案を仮想的に設置した住宅プランと換気システムの配置の一例を示す。この住宅は、2階建ての建物で延べ床面積約  $150 \text{ m}^2$  である。1階には、リビングを想定したLVとダイニング・キッチンを想定したDKと浴室・洗面室を想定したBAとを、2階には寝室を想定したBR1・BR2と階段・ホールを想定したSCとを設定した。機器の配置は、DKとBAとSC2階部分とにそれぞれ屋外へ排気する換気扇を、LVとDKとBR1とBR2の各居室とSCとの間仕切壁に室間ファンを設置して各居室と廊下・階段ホールの空気を換気した。

シミュレーションには、圧力仮定法を用いた換気回路網計算プログラムを用い、パラメーターには、気密性能(以下ATと略す)、隙間の分布、内外温度差(以下 $\Delta T$ と略す)、外気風向、風速、建物立地条件を設定した。



気密性能は、比較的温暖な地域において壁体内結露の危険性を考慮しても中程度の気密性が要求される程度であるので、従来のダクトレス式排気セントラル換気方式で温度差換気の影響を受けることになる値 $AT=5\text{cm}^3/\text{m}^2$  ( $n_{50}=6.5\text{h}^{-1}$ )とそれよりも気密性能の高い値 $AT=3\text{cm}^3/\text{m}^2$  ( $n_{50}=3.9\text{h}^{-1}$ )との2通りを選択した。

隙間の分布は、総隙間相当面積を各部屋の床面積毎に比例して配分した「均等」と、実際の住宅でパイプシャフト等のために隙間が集中しやすいDK・BA・SCに隙間を2倍配分とした「偏在」との2通りを設定した。

内外温度差は、20K、15K、10K、5Kの4通りを設定した。

外気風速は、0m/s、3m/s、5m/sの3通りを設定し、風向は一定とした。建物立地条件は、郊外に立地した場合を設定した。

シミュレーション結果は、表1に示すA～Iの評価項目と判定基準とで評価を行った。各部屋の必要換気量は、1人当たりの必要換気量を $20\text{m}^3/\text{h}$ とし、DKの場合は成人4人、LV・BR1・BR2の場合は成人2人在室した場合を想定している。

この評価結果を元に最適な排気セントラル換気システムの構成を決定し、人工気象室内の実大実験住宅において同一条件にて再検証を行った。この実大実験住宅の特徴については、文献<sup>9)</sup>に記されている。シミュレーションの住宅プランと実大実験住宅とは隙間の配置が若干異なるので実大実験住宅での検証実験後再度シミュレーションを行い比較した。また、本ダクトレス式排気セントラル換気システムと比較検討するため給気用ファンを外壁に設置した排気セントラル方式と従来のダクト式排気セントラル方式に関して同様な評価を行い比較した。

#### 4. 評価結果と考察

設定パラメーターとシミュレーションによる評価結果とを表2に示す。表中の排気量はプラスが室内から屋外への排気を示しており、室間ファン風量はプラスが各室からSCへ向けての排気を、マイナスがSCから各室への排気をそれぞれ示している。

##### 4.1 $AT=5\text{cm}^3/\text{m}^2$ ( $n_{50}=6.5\text{h}^{-1}$ )で、隙間の分布が「均等」時の換気性状 (No.1～No.20)

1・2階の各室に室間ファンを設置した場合の代表例としてNo.2を、温度差換気の影響を抑えた改善案としてNo.17の条件を設定している。No.2では、2階部の室間ファンでSCの加圧を、1階部の室間ファンでSCの減圧を行い、2階から1階に向けた空気の流れを生じさせ、温度差換気による上昇気流を抑えることを考えた。しかし、DK・BAのような換気扇を設けたダーティーゾーンからSCに空気が逆流するだけでなく、BR1・BR2の外壁からも外部へ大きな流出が生じている。また、2階から1階への空気の流れが生じておらず、温度差換気が解消していないことがわかる。

No.17ではSCの加圧効果を高めるために、室間ファンをBR1・BR2だけとして $140\text{m}^3/\text{h}$ の排気をSCに向けて行った。この大排気量によりBR1・BR2で生じていた流出はいずれも $10\text{m}^3/\text{h}$ 未満となり1階から2階に向けての温度差換気は大きく抑えられることとなった。同時にDK・BAのダーティーゾーンからSCへの逆流も解消され汚染空気の拡散も防止できた。DKでの過給気も減少させ

ることができ流入空気による寒さ感等のデメリットの解消もできると考えられる。

#### 4.2 $AT=5\text{cm/m}$ ( $n_{90}=6.5\text{h}^{-1}$ ) で、隙間の分布が「偏在」時の換気性状 (No. 21~No. 42)

No.29 として、No.17 の換気システムを隙間偏在の条件下で計算した結果を示し、No.42 として  $\Delta T$  が小さい場合の改善策の換気性状を示す。No.29 では、隙間を DK・SC・BA に偏在させたため給気もそれらの3部位で増加し LV・BR1・BR2 で減少したが、許容範囲内であり本改善策は有効に作用している。実際の住宅では特別な気密施工をしない限り、パイプシャフトや階段などの複雑な施工部位で隙間が発生する要因となり、本シミュレーション以上の偏在が生じる恐れもあり、いかにして余裕度を見るか、あるいはある程度の気密化工事をおこなうか検討が必要である。

No.42 では、 $\Delta T=5\text{K}$  時の換気性状を検証した。温度差換気の影響が小さくなったため、室間ファンの風量が  $140\text{m}^3/\text{h}$  のままだと LV・DK の外気流入量が減り、BR1・BR2 で外気流入量が増加するため  $100\text{m}^3/\text{h}$  に減少させ、LV・DK の給気過小を改善させた。 $\Delta T=5\text{K}$  時というのは春や秋などの中間期が想定されるが、この頃は窓を開けたりする場合も多く家全体の換気が促進されやすい時期でもあり特に細かく室間ファンの風量を変える必要はないかもしれない。あるいは、内外温度差の小さい季節には室間ファンのみ停止することも検討に値する。

#### 4.3 $AT=3\text{cm/m}$ ( $n_{90}=3.9\text{h}^{-1}$ ) での換気性状 (No. 43~No. 49)

$AT$  が小さくなることにより温度差換気の影響が小さくなり、換気扇の排気による室内圧低下の作用が利き始める。そのため、 $AT=5\text{cm/m}^2$  ( $n_{90}=6.5\text{h}^{-1}$ ) で  $\Delta T=5\text{K}$  の場合と同じく室間ファンの風量を減少させ、SC の加圧を押さえた。また、隙間が小さくなったことにより室間ファンの風量減少だけでは LV 給気量が増加せず、DK 排気量を  $20\text{m}^3/\text{h}$  増加させて LV~SC~DK の流れを増加させ、LV 給気量を補填した。

#### 4.4 外部風の影響評価 (No. 50~No. 52)

No.52 は、No.17 と同じ換気システムで、DK と BR2 側から風を与えたものである。 $AT=5\text{cm/m}^2$  ( $n_{90}=6.5\text{h}^{-1}$ ) のため風の影響を大きく受け、風速が  $0\text{m/s}$  から  $5\text{m/s}$  に増加すると、DK の給気量は約 1.5 倍、BR2 の給気量は約 2.2 倍に増加した。一方、SC の給気量は、約 3 分の 1 に減少した。

### 5. 換気システムの設計フロー

ここまでで、外皮の気密性能、内外温度差、機械給排気のパターン変化させ、換気性状の検討を行い室間ファンを用いた排気セントラル換気システムの改良案として最適とされるシステムを決定した。しかし、実際の住宅に反映させるためには、検証を行ったパラメーターの判断課程を実務家にも参照できる設計フローとしてまとめる必要があると思われる。そのため以下では、知見を支障ない範囲で単純化し、設計フローとしてまとめる。

図3に換気システム設計のフローチャートを示す。この設計フローチャートでは、設計パラメーターを必要最小限に分類することで複雑な作業を避け設計作業を簡単にすることを考えた。換気に対する必

要事項は、国や地域の法規により異なるため、ここで示す設計フローはひとつの事例ではあるが、この設計フロー作成の際と同じ手順と考え方が様々な場合に適用できる。

設計パラメーターは4点とした。隙間相当面積は、建物の建築工法からおおよその推定を行うことができる。例えばある地域における2×4工法では $A_T = 5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  ( $n_{50} = 6.5 \text{ h}^{-1}$ ) 程度とか在来軸組み工法では $A_T = 8 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  ( $n_{50} = 10.5 \text{ h}^{-1}$ ) 程度との見積りができるかもしれない。できれば実物の気密測定を行って推定精度を上げるべきであろう。延べ床面積や間取りは建築平面図を見れば簡単にわかる。内外温度差に関しては、地域の気象データを手に入れ把握すると良い。フンダーカットについては各室に入ってきた空気が各換気扇まで流れていくために必要な仕様である。

設計フローチャートは、設計の一事例を示している。調査した設計パラメーターをフローチャートに従って当てはめていけば簡単に換気システムの構成を決定できるため特に専門的な知識は必要ない。

これらの簡単な作業により本換気システムの構成を決定し、所定の部位に機器を取り付けた後、換気量を簡易調整スイッチなどで調整し試運転を行って換気システムの設置は終了する。

## 6. まとめ

排気セントラル換気システムの改善設計にシミュレーションを用いた。従来のダクトレス方式を中程度の気密性を有する住宅に適用した場合は温度差換気の影響を強く受けたが、室間ファンを用いて1・2階を連通した階段・ホールの圧力を調整することで隙間相当面積及び内外温度差の影響が少なく、各部屋の給気がバランス良く行えるダクトレス式の排気セントラル換気システムを構築できた。今後は、実用化に際しては室間ファンの騒音対策を含めた検討が必要である。

## 【参考文献】

- 1) Yoshinori Taniguchi et al; A New Experimental Approach for the Evaluation of Domestic Ventilation Systems, Part2, pp585-587, ASHRAE Transactions 1998 pt1
- 2) 山中貴勝他; 温暖地における戸建住宅の換気に関する研究(その1) 局所換気運転時の戸建住宅の換気性状、空気調和・衛生工学会学術講演論文集(1)、1998年8月、pp9-12
- 3) IEA, ECBCS, Annex27 "Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems" Report (Draft), Lars-Goran Mansson (Editor)
- 4) 浅野賢二; 「高気密住宅の換気計画に関する研究」, 日本建築学会大会梗概集, 住宅の換気システムに関する実験的研究, その2
- 5) Takao Sawachi et al; A New Experimental Approach for the Evaluation of Domestic Ventilation Systems, Part1, pp570-584, ASHRAE Transactions 1998 pt1

## 【謝辞】

建設省建築研究所の瀬戸裕直氏、(財)ベター・リビング筑波試験センターの清水則夫氏、山中貴勝氏には実験に際し大変お世話になりました。記して謝意を表します。

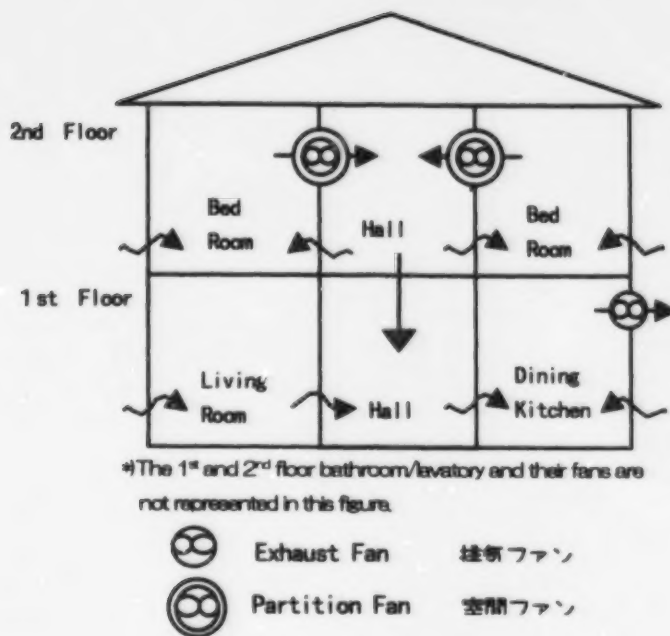


Figure 1 Basic composition of non-duct exhaust only ventilation system.

図1 空間ファンを用いた省ダクト排気セントラル換気方式の基本構成

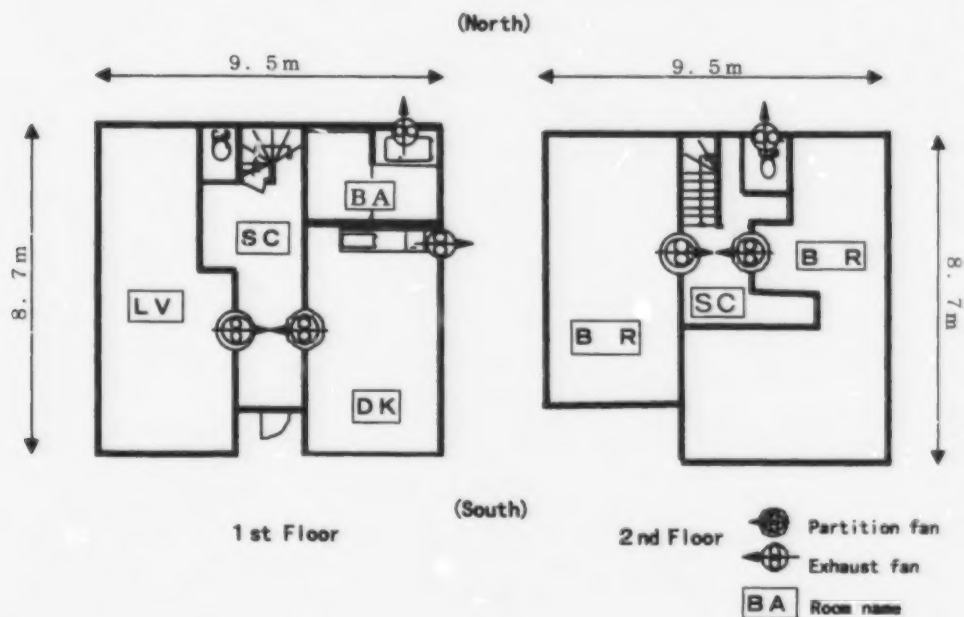
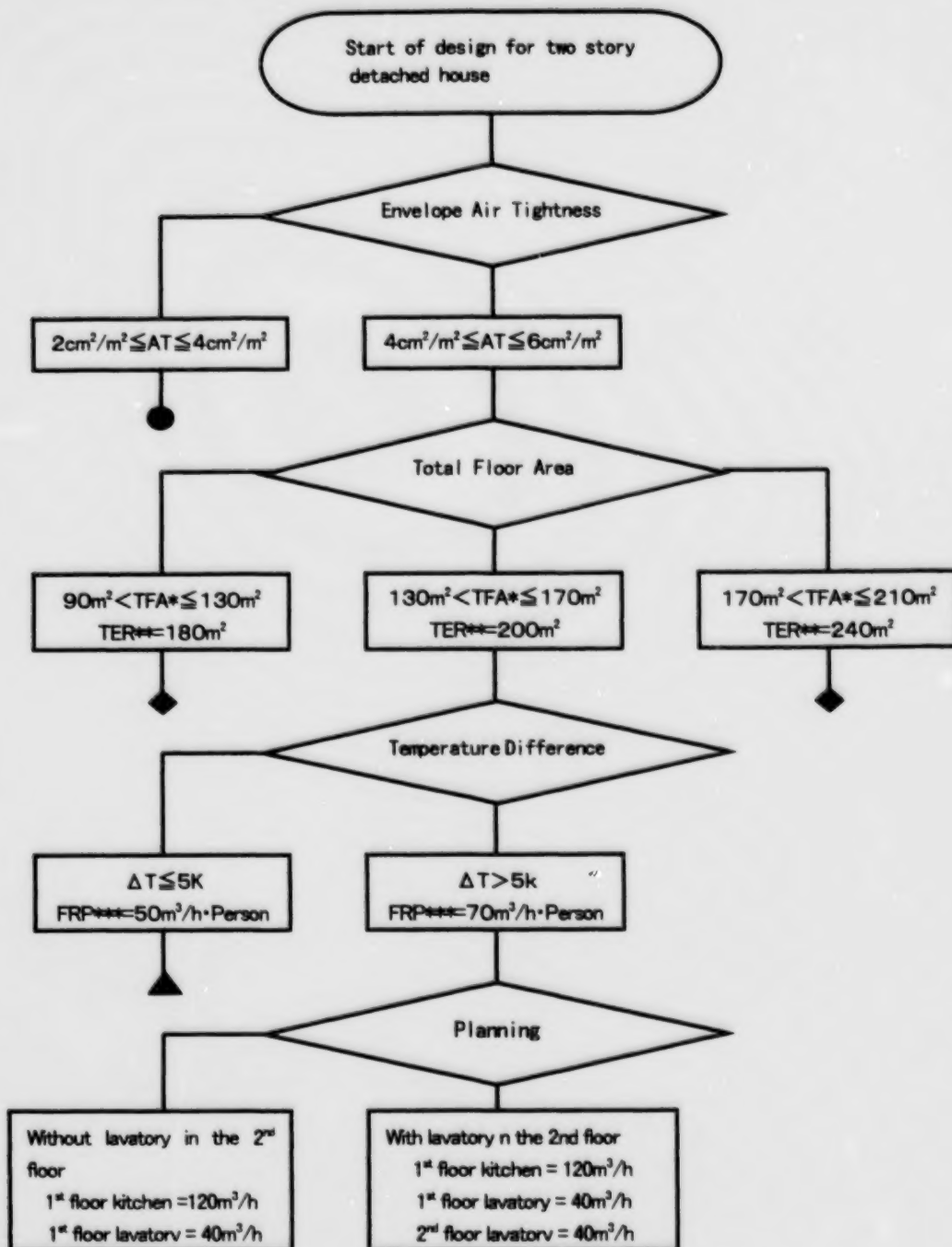


Figure 2 Planning sample of setting ventilation system.

図2 換気システム評価において想定した住宅プラン



\*TFA: Total Floor Area \*\*TER: Total Exhaust Rate \*\*\*FRP: Flow Rate of Partition Fans

● To be followed by "total floor area", "indoor/outdoor temperature difference" and "floor plan"

◆ To be followed by "indoor/outdoor temperature difference" and "floor plan"

▲ To be followed by "floor plan"

Figure3. An example of design flow chart of exhaust-only ventilation system with partition fans for detached house

図3 戸建住宅のための空間ファンを用いた排気セントラル方式に関する設計フローの例



表1 換気回路網計算結果に関する評価項目及び基準

Table 1 Evaluation criteria and items of the numerical simulation

Symbol	Evaluation item	Evaluation criteria			Required air supply
		+	0	-	
A	Air supply from outside to DK	70~90(m <sup>3</sup> /h)	80~70, 90~100(m <sup>3</sup> /h)	~80, 100~(m <sup>3</sup> /h)	80m <sup>3</sup> /h
B	Air supply from outside to LV	35~45(m <sup>3</sup> /h)	30~35, 45~50(m <sup>3</sup> /h)	~30, 50~(m <sup>3</sup> /h)	40m <sup>3</sup> /h
C	Reverse outflow from BA to SC	No	—	Yes	—
D	Outflow from LV to outside	No	—	Yes	—
E	Outflow from BR1, BR2 to outside	No	—	Yes	—
F	Air supply from outside to BR1, BR2	35~45(m <sup>3</sup> /h)	30~35, 45~50(m <sup>3</sup> /h)	~30, 50~(m <sup>3</sup> /h)	40m <sup>3</sup> /h
G	Flow path of outdoor fresh air (outside→BR1, BR2→SC)	Conforming	—	Non conforming	—
H	Flow path of outdoor fresh air (SC→DK, BA)	Conforming	—	Non conforming	—
I	Flow path of outdoor fresh air (outdoor→LV→SC→DK, BA)	Conforming	—	Non conforming	—

表2 換気回路網計算結果及び表1に基づく評価結果

Table 2 Numerical simulation results and evaluation

No.	AT (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) [n <sub>50</sub> (1/h)]	Leakage Distribution	ΔT (K)	Exhaust Rate (m <sup>3</sup> /h)			Flow Rate of Partition Fans (m <sup>3</sup> /h)				Wind Direction	Wind Speed (m/s)	Location	Evaluation									TER * (m <sup>3</sup> /h)	TFP ** (m <sup>3</sup> /h)
				DK	BA	SC	DK	LV	BR1	BR2				A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1	5.6.5	even	20	100	30	30	-60	-60	30	30	—	0	—	+	+	—	—	—	—	—	+	180	180	
2	5.6.5	even	20	130	30	30	-60	-60	30	30	—	0	—	+	+	—	—	—	—	—	+	190	180	
3	5.6.5	even	20	130	30	30	-30	-30	30	30	—	0	—	+	+	—	—	—	—	—	+	190	120	
4	5.6.5	even	20	130	60	60	-30	-30	30	30	—	0	—	0	+	+	—	—	—	+	+	250	120	
5	5.6.5	even	20	130	60	60	-30	-30	60	60	—	0	—	+	+	+	—	0	+	+	+	250	180	
6	5.6.5	even	20	130	30	30	-30	-30	60	60	—	0	—	+	0	+	—	—	—	+	+	190	180	
7	5.6.5	even	20	130	30	30	-30	-30	90	90	—	0	—	+	+	—	—	0	+	+	+	190	240	
8	5.6.5	even	20	130	30	30	-45	-30	90	90	—	0	—	+	+	—	—	0	+	+	+	190	255	
9	5.6.5	even	20	115	45	30	-30	-45	90	90	—	0	—	+	+	+	—	0	+	+	+	190	255	
10	5.6.5	even	20	130	60	60	-30	-30	90	90	—	0	—	+	+	+	—	+	+	+	+	250	240	
11	5.6.5	even	20	130	60	60	-30	-30	120	120	—	0	—	+	+	+	+	0	+	+	+	250	300	
12	5.6.5	even	20	110	40	40	-30	-30	120	120	—	0	—	0	+	+	—	0	+	+	+	190	300	
13	5.6.5	even	20	100	45	45	-30	-30	120	120	—	0	—	0	+	+	—	0	+	+	+	190	300	
14	5.6.5	even	20	110	40	40	-20	-20	120	120	—	0	—	0	+	+	—	0	+	+	+	190	280	
15	5.6.5	even	20	120	40	40	0	-20	120	120	—	0	—	+	+	+	—	0	+	+	+	200	260	
16	5.6.5	even	20	150	40	0	0	-40	120	120	—	0	—	+	+	+	—	0	+	+	+	190	280	
17	5.6.5	even	20	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	0	+	+	+	0	0	+	+	200	280	
18	5.6.5	even	20	110	40	40	0	0	120	120	—	0	—	0	0	+	+	0	+	+	+	190	240	
19	5.6.5	even	10	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	—	+	+	—	—	+	+	+	200	280	
20	5.6.5	even	5	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	—	+	+	0	+	—	+	+	200	280	
21	5.6.5	uneven	20	130	60	60	-30	-30	120	120	—	0	—	0	+	+	+	0	0	+	+	250	300	
22	5.6.5	uneven	20	120	40	40	0	-20	120	120	—	0	—	+	0	+	+	0	—	+	+	200	280	
23	5.6.5	uneven	20	150	40	0	0	-40	120	120	—	0	—	0	+	+	—	0	—	+	+	190	280	
24	5.6.5	uneven	20	140	50	0	0	-20	140	140	—	0	—	+	+	—	0	0	+	+	+	190	300	
25	5.6.5	uneven	20	140	50	0	-20	0	140	140	—	0	—	+	0	+	+	0	+	+	+	190	300	
26	5.6.5	uneven	20	140	50	0	0	0	160	160	—	0	—	+	+	—	—	+	+	+	+	190	320	
27	5.6.5	uneven	20	140	50	0	0	0	140	140	—	0	—	+	0	+	—	0	+	+	+	190	280	
28	5.6.5	uneven	20	120	40	40	0	0	120	120	—	0	—	+	+	+	0	—	+	+	+	200	240	
29	5.6.5	uneven	20	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	0	0	+	+	+	200	280	
30	5.6.5	uneven	20	120	60	40	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	0	0	+	+	+	220	280	
31	5.6.5	uneven	15	120	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	0	—	+	+	+	200	140	
32	5.6.5	uneven	15	120	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	+	+	0	—	+	+	+	200	200	
33	5.6.5	uneven	15	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	+	+	+	+	+	200	280	
34	5.6.5	uneven	10	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	+	+	+	0	+	+	+	+	200	280	
35	5.6.5	uneven	10	120	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	0	+	+	+	+	+	+	200	200	
36	5.6.5	uneven	10	120	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	0	—	+	+	+	200	140	
37	5.6.5	uneven	5	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	0	+	+	+	0	+	+	+	200	280	
38	5.6.5	uneven	5	120	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	+	—	+	+	+	200	140	
39	5.6.5	uneven	5	120	40	40	0	0	30	30	—	0	—	+	0	+	+	0	—	+	+	200	60	
40	5.6.5	uneven	5	150	40	40	0	0	30	30	—	0	—	+	0	+	+	0	—	+	+	230	60	
41	5.6.5	uneven	5	150	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	+	+	+	—	+	+	+	230	140	
42	5.6.5	uneven	5	120	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	+	+	+	0	+	+	+	200	200	
43	3.3.9	even	20	120	40	40	0	0	140	140	—	0	—	0	0	+	+	+	+	+	+	200	280	
44	3.3.9	even	20	140	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	+	+	+	0	—	+	+	220	200	
45	3.3.9	even	15	140	40	40	0	0	100	100	—	0	—	+	+	+	+	0	+	+	+	220	200	
46	3.3.9	even	10	140	40	40	0	0	100	100	—	0	—	0	0	+	+	+	+	+	+	220	200	
47	3.3.9	even	10	140	40	40	0	0	70	70	—	0	—	+	0	+	+	+	0	+	+	220	140	
48	3.3.9	even	5	140	40	40	0	0	100	100	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	220	200	
49	3.3.9	even	5	140	40	40	0	0	70	70	—	0	—	0	+	+	+	+	+	+	+	220	140	
50	5.6.5	even	20	120	40	40	0	0	140	140	East	0	Suburb	+	+	+	+	0	+	+	+	200	280	
51	5.6.5	even	20	120	40	40	0	0	140	140	East	3	Suburb	+	+	+	+	—	+	+	+	200	280	
52	5.6.5	even	20	120	40	40	0	0	140	140	East	5	Suburb	—	0	+	+	+	—	+	+	+	200	280

\* TER: Total Exhaust Rate \* TFP: Total Flow Rate of Partition Fans

1) Positive exhaust rates represent the flow direction from indoor to outdoor.

2) Positive flow rates of Partition fans represent the flow direction from DK to SC, LV to SC, BR1 to SC, BR2 to SC.





**Session 2／分科会 2**

**Indoor Air Quality／室内空氣質**



## **Housing Performance and Health Study in PEI: A First Year Progress Report**

K. Ruest, Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada  
Jim H. White, System Science Associates Ltd., Canada

### **Introduction**

Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC is the Canadian federal government housing agency) have been studying moisture problems in housing for two decades. For more than a decade they have worked with Health Canada and a fungal expert, Dr. David Miller now with Carleton University, to study the impact of housing moisture performance and mold on children's health. The first work by Health Canada was in the form of a national questionnaire [1] of mold and early-school-aged children's health and was followed by a repeated questionnaire in the small south-eastern Ontario city of Wallaceburg. That smaller study of about 900 questionnaires showed that the results were repeatable. The national, 10 city / 5 regions study of about 15,000 had shown a roughly 2:1 increase in reported respiratory disease symptoms when mold was reported, and there was a dose-response relationship, in that more reported mold resulted in more reported respiratory disease. The same reported mold/disease response was found for adults in those same homes. The size of the effect was about the same as passive smoking.

Since that time there have been about 30 such questionnaire studies, world-wide, which have all shown the same result. When mold is reported, so is an increase in reported respiratory disease.

### **Background to the Field Studies**

CMHC brought a group of international experts together to advise on what should be done next to determine the validity of the questionnaire surveys. There was a concern that, since the format of many of the questionnaires was similar, the effect could be due to a questionnaire response bias, not a real health outcome due to exposure. The experts suggested that, within the limits of funding for future Canadian studies, the range of exposures should be determined in a large number of houses, and then the dose-response effect determined for the observed exposures. CMHC wanted to understand which housing performance characteristics led to mold problems, especially those that induced a health effect, so a housing performance study was also designed and implemented.

The first field study [2,3], in Wallaceburg, was carried out over two years. During the first winter, the exposures of the children to mold, dust mites, cat allergen, endotoxin and volatile organic compounds were determined in about 400 houses. Almost-complete results were achieved in 376 houses of the 402 that were visited. As expected, exposures were highly variable. The one exception was total volatile organic compounds. From the set of houses, 40 houses that displayed high mold activity (using a score based on three different measures of mold severity) were visited in the second year, as well as 20 houses with low exposure. One of the high houses dropped out at the last minute, and one of the low exposure houses subsequently proved to be heavily contaminated by that second year. None-the-less the sample was large enough to display moderate level effects of dose-response.

The health of the children was measured by a much more elaborate questionnaire that was given by a nurse, plus immunological analysis of a blood sample and cough recording. The primary

health response was chosen to be the blood sample, although the health questionnaires were more credible than self-reported symptoms, in that the nurse could help keep responses more precise.

A statistically significant correlation was found between several measures of predicted window condensation and one of the blood lymphocyte measures (CD45O3CT). Several health indicators were well predicted by the good/bad house selection that was based on the score of mold indices, in spite of the one good house actually being bad at the time of the blood tests. The amount of visible mold and mold-in-air counts were well predicted by a measure of the amount of moisture being processed by the house each day, the calculated Internal Moisture Source Strength.

Leakier houses were somewhat more likely to have children with disturbed blood lymphocytes, not tighter ones, and the centre of room relative humidity was not a good predictor of either blood lymphocyte changes or of mold area or counts. There was no observable effect of Total Volatile Organic Compound exposure. Concentrations of individual compounds were too low for a detail study of the effects of these individual contaminants.

### **PEI Study Design**

Discussions between the health and study experts resulted in a modified study design for the next investigations. Since babies have more sensitive immune systems and their exposures tend to be less complicated (they spend a majority of their time at home, and in only a few rooms) it was decided that the study should be on housing and baby's health. The east coast island province of Prince Edward Island (PEI) has a high incidence of asthma in children and adults and 52% of children's hospitalizations are for respiratory diseases. Since the provincial health authorities were cooperative, the study was of newborn babies in PEI, with selection starting with pregnant women who would agree to the ongoing study protocol. About 60 babies are being added to the study each year.

The health protocol involves an extensive intake questionnaire and an every-two-week telephone questionnaire administered by a nurse, and is followed at year two with a blood test. Home diaries have been provided to all participants, to help with symptom recollection. With the mother's permission, the baby's doctor is being contacted to confirm some of the illness reports. The health effects and correlations to housing exposure and performance indicators are still being analyzed and are not reported here.

The housing performance and exposure side of the study was closely based on the Wallaceburg study, but there were several changes made. No measurements of VOCs were attempted, since they were not an important predictive variable in Wallaceburg. Mold, dust-mite, cat antigen and endotoxin samples were again taken, from the dust in the air and from floor and bedding dusts. Short-term air exchange rates were also not measured as they did not appear to improve the prediction of long-term air leakage in that previous study (the studies could not support the cost of continuous air exchange measurements). As in Wallaceburg, the temperature, relative humidity and carbon dioxide concentration was measured in the baby's bedroom, but this time for almost a week, not just a few days. Since the mere presence of a wood burning device was a predictor of mold in the Wallaceburg study, the use of wood and the amount of wood storage in the house were determined by questionnaire.

The propensity of the heating system to spill combustion gases into the house was measured, as it was in Wallaceburg, using a modification of the CGSB protocol [4].

Analysis of the housing performance data includes several measures. One is prediction of the short-term air exchange rate, to correspond with the 15 minute averaged measurements of CO<sub>2</sub>, temperature and RH in the baby's bedroom, using: a) air tightness measurements; b) weather data from Environment Canada; and, c) the AIM2 air exchange prediction protocol developed by Walker when he was at the University of Alberta. Another is prediction of window condensation frequency characteristics, using a protocol developed by Mark Lawton of Morrison Hershfield, the study manager. The air exchange rate and indoor and outdoor environment parameters of temperature and relative humidity are also used to predict the amount of moisture that is coming in with ventilation air, going out with ventilation air, and the difference, the Internal Moisture Source Strength. From occupancy and activity patterns, a prediction is made of the amount of moisture the family would add to the indoor air each day, using data from an early 80's publication by CMHC.

### **Some First Year Exposure Results**

From early first-year results [5], mold exposure, as determined by both visible mold area and Reuter Centrifugal Sampler (RCS) viable spore counts, is highly variable. The measured mold area varied from zero to 114,098 cm<sup>2</sup>, with a mean of 6,107 cm<sup>2</sup> and a standard deviation of 15,784 cm<sup>2</sup>. Inspectors found visible mold in 20% of basements, on 70% of window frames and in 57% of the rooms in which babies slept. Occupants identified wetting episodes during the last year in 62% of the houses and noticed musty odours in 37% of their homes. Ten of the houses (17%) were experiencing current wetting events.

The RCS results were also highly variable, with a range of 6 to 938 CFU/m<sup>3</sup> in the four sets of data taken. The mean baby's bedroom count was 95 CFU/m<sup>3</sup> and the standard deviation was 102 CFU/m<sup>3</sup>. Toxigenic species were identified in one or more of the four RCS samples in 93% of the homes and in 49% of the bulk samples. Detectable ergosterol was identified in only 7 bedroom and 9 living room samples. Bedroom endotoxin concentrations ranged from zero to 65.2 ng/m<sup>3</sup>, with a mean of 2.5 ng/m<sup>3</sup> and a standard deviation of 8.5 ng/m<sup>3</sup>.

The long-term average carbon dioxide measurements for the reporting period showed a similar variation to that found in Wallaceburg, with a minimum of 419 and a maximum of 2,625 ppm. Canada's Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality [6] suggest a 3,500 ppm health limit for CO<sub>2</sub>, for direct health effects, not as a surrogate for poor ventilation rate. The long-term average CO<sub>2</sub> concentration did not exceed that level, although there were peak reading in excess of 3,500 ppm in several bedrooms. The mean of the long-term averaged readings was 1,004 ppm and the standard deviation was 418 ppm. The lowest rate indicates a very high effective air exchange rate per person in the baby's bedroom, but the highest reading of 2625 ppm indicates that the effective ventilation rate per person is only about 15% of what ASHRAE recommends for good ventilation. Clearly there is a ventilation problem in those houses.



### First Year Housing Performance Results

The houses in year one were not a representative sample of the houses in PEI. An attempt will be made to improve representation in future years. There was a reasonable mix of houses located in rural as opposed to urban settings. Too many of the houses were constructed in the 1990s and the 1980s for good representation, and a much larger fraction than the norm were framed with 38x140 studs, instead of the historical 39x89 studs that were used almost exclusively prior to the 1980s.

The house volume and heated volume per occupant varied greatly, about one order of magnitude. Fifty-one of the houses had basements, perhaps a uniquely Canadian reality. Many of the houses did not have forced-air heating systems, which is an anomaly in Canada, but an unusually high percentage, 28% had central ventilation systems. Also an unusually high percentage, 10%, used wood heating as the primary source of heat and 22% had wood stoves for supplemental heat. Thirteen houses (22%) had more than one cubic metre of wood stored indoors.

Weeklong averages of temperature in the baby's bedroom varied from 14.4 °C to 24.6 °C, with a mean of 20.9 °C and a standard deviation of 2.1 °C. Mean relative humidity variations were from a minimum of 22% to a maximum of 51%, with a mean of 35% and a standard deviation of 7%. None of these are seriously out of line with bedroom conditions measured during the wintertime in other Canadian locations.

Not all houses were successfully air-tightness tested, as high winds prevented testing in some, occupants were burning wood in heating appliances in others and several were multi-family dwellings which were not required to be tested. For the 39 houses which had successful tightness tests, using a modified protocol which left all normal openings unblocked, the Equivalent Leakage Area (ELA) varied from a minimum of 88 cm<sup>2</sup> to a maximum of 1,781 cm<sup>2</sup>, with a mean of 529 cm<sup>2</sup> and a standard deviation of 477 cm<sup>2</sup>. Since the openings were not blocked according to the standard CGSB protocol [4], these numbers cannot be directly compared to other standardized data. They are more useful, however, in estimating air exchange rates through the envelope. An ELA of 88 cm<sup>2</sup> is very tight, even for Canadian R2000 house standards, but the high of 1,781 cm<sup>2</sup> is a very leaky house. The leakiest house was 20.2 times leakier than the tightest, again showing that this housing sample was highly variable. Average values of any house measure tell you nothing about what any real house is like.

Weeklong averages of air exchange were calculated in the 36 houses for which data existed, including an estimated forced-ventilation flow from the ventilation systems, where they were installed and reported as running. They varied from a minimum of 0.03 AC/h to a maximum of 2.02 AC/h, with a mean of 0.460 AC/h and a standard deviation of 0.548 AC/h. The mean and range are not out of line with results from other small sets of Canadian houses. The very-low result of 0.03 AC/h has been seen in other Canadian houses, by both calculation and measurement. Such houses require forced ventilation systems, but do not have them, or the ventilation systems exist but are not operated.

Wood consumption for heating varied considerably in the 14 houses for which usage data was available, with a minimum of 3.6 m<sup>3</sup> and a maximum of 29.0 m<sup>3</sup>. The average usage was 14.7

m<sup>3</sup>. The stored wood volume varied from a trace 0.01 m<sup>3</sup> to a high of 14.50 m<sup>3</sup>, and a mean of 5.87 m<sup>3</sup>, which is still a fairly large pile.

The total moisture source strength of the house set for which calculations could be made, which was 36 houses, varied from a minimum of 5.4 kg/d to a maximum of 149.6 kg/d, with a mean of 36.4 kg/d and a standard deviation of 35.3 kg/d. The internal moisture source strength, obtained by subtracting out the moisture coming in with the outdoor air, varied from a minimum of -0.1 kg/d to a maximum of 64.4 kg/d, with a mean of 14.7 kg/d and a standard deviation of 14.1 kg/d. The latter is very similar to the results for the 59 houses in Wallaceburg.

The calculated occupant-related moisture source strength varied much less dramatically, with a minimum of 6.5 kg/d, a maximum of 31.9 kg/d, a mean of 14.6 kg/d and a standard deviation of 4.6 kg/d. These results are similar to the Wallaceburg set.

The difference between the internal moisture source strength and the occupant-related moisture source strength, the non-occupant moisture source strength, varied from -17.8 kg/d to 57.9 kg/d, with a mean of -0.1 and a standard deviation of 15.2. On average, occupants could account for much of the moisture generated. However, the calculated occupant-related source strength is too high compared with measured/calculated internal source rates in many cases, resulting in a negative value of the non-occupant MSS and too low to account for the magnitude of internal source strength in others. House performance problems likely account for the high MSS numbers. We should re-look at predicted occupant source strengths, as they may be too high.

#### **Some Correlations on Exposure and Performance**

Preliminary data analysis was performed using the correlation function of Microsoft EXCEL 7.0a to measure the between the data sets. The statistical significance of the correlations was found by using a Fisher transformation of the correlation coefficient. The relationships reported here reject the null hypothesis at a  $p = 0.05$  or  $p = 0.10$  levels of significance (the results will be true either 95 times out of a 100 or at a lower probability of 90 times out of 100).

As in Wallaceburg, simple measures of air temperature and relative humidity were usually not significant predictors of any biological indicator. A different result from Wallaceburg was the lack of a correlation between internal moisture source strength and visible mold area, using all of the houses, with and without forced-ventilation systems. When houses without forced-ventilation systems were analyzed separately, this correlation returned, with a large size effect of 0.349, but the correlation coefficient (Fisher Z coefficient) was much smaller than the Wallaceburg set, for these PEI houses that did not have mechanical ventilation systems.

Selected results are as follows:

1. Higher wood use led to higher mold area, ergosterol levels in dust and viable mold spore counts in air samples;
2. Higher occupant-related moisture source strength resulted in higher mold areas and ergosterol levels;
3. Higher internal moisture source strengths resulted in lower endotoxin levels.

Although many thought that storing large amounts of wood indoors would result in more mold, that correlation was not present. Higher bedroom relative humidity did result in higher viable air spore counts, but did not correlate with higher house-wide mold areas. Leakier houses did not result in higher mold areas in this PEI set of houses, although it did in the Wallaceburg set.

### Implications

From the two studies we are gaining a picture of what does and does not lead to mold exposure, and will be gaining an understanding of what causes health effects in the young. Even with the present status of the ongoing study we know that:

1. leaky houses are not less moldy, they may even be moldier (as in the Wallaceburg set);
2. centre-of-room relative humidity is not an indicator of mold growth, but local condensation conditions are;
3. wood use for heating seems to lead to mold growth (several possible reasons exist, and should be being studied further); and,
4. houses cannot handle large amounts of moisture generation without getting into trouble.

### Acknowledgements

The majority of the funding for this study is from Canada Mortgage and Housing Corporation, the Canadian federal housing agency. Funding for the health part of the study has been from the Panel for Energy Research and Development, through Health Canada. Dr. J. David Miller of Carleton University is supplying fungal expertise. The housing performance part of the study is being performed by a consultant team lead by Morrison Hershfield Ltd., with a major field contractor being Jacques Whitford Environmental Ltd. Fungal analysis is by Tom Rand of Mycotaxon Consulting.

### References

1. Dales RE, Zwanenburg H, Burnett R, Franklin CA, 1991, *Respiratory health effect of home dampness and molds among children*, Am Rev Respir Dis, 134: pp 196-203
2. CMHC, 1995, *Moldy Houses: Why They Are and Why We Care*
3. CMHC, 1996, *Additional Analysis of Wallaceburg Data*
4. CAN/CGSB 149.10 M-86 *Determination of the Airtightness of Building Envelopes by the Fan Depressurization Method*
5. CMHC, 1998, *Housing Conditions, Biological Exposure and Health of Infants in PEI, Year End Report to 1997/98*
6. Health Canada, 1987, *Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality*

The CMHC reports are available from:

Canadian Housing Information Centre  
700 Montreal Road  
Ottawa, ON K1A 0P7  
Canada  
1 613 748-2367

# プリンスエドワードアイランド州における住宅性能と健康調査 - 初年度進捗報告書 -

K. Ruest

Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada  
Jim H. White, System Science Associates Ltd., Canada

## 1. はじめに

カナダモーゲージ住宅社 (CMHC: カナダ連邦政府住宅庁) では、この 20 年来、住宅内の湿気に関する研究を行っている。また 10 年以上にわたり、Health Canada (カナダ保健省) や菌類の専門家であるカールトン大学の David Miller 博士と共に、室内の湿気やカビが子供の健康へ及ぼす影響を調査している。カナダ保健省の最初の研究は、カビと低学年の児童の健康に関する全国アンケート[1]という形で行われ、引き続きオンタリオ州南東部の小都市 Wallaceburg (ウォレスバーク) で再度調査を行った。この再調査は、アンケート数が約 900 枚と小規模ではあるものの、結果は再現性を示した。10 市、5 地域の約 15,000 名を対象とした全国調査では、カビが存在する場合、呼吸器系疾患の症状はおおよそ 2:1 の割合で増加することが分かり、さらに、カビの発生が増えると、呼吸器系疾患も増えるという用量反応関係がある。このカビと疾患の対応関係は、調査対象家庭の大人にも同様に見られた。その影響の大きさは、間接喫煙とほぼ同程度であった。

その後、同様なアンケート調査が世界規模で約 30 件行われ、どれも同じ結果を示した。つまり、カビが存在する場合、呼吸器系疾患の増加が見られるのである。

## 2. 現地調査の背景

CMHC は、アンケート調査の有効性を確認するには次に何をすべきか助言を得るために、国際的専門家グループを結成した。これは、多くのアンケートの書式が似ていたため、アンケートの回答に偏りが生じた可能性があり、調査結果が曝露による真の健康状態を示すものではないかもしれないという懸念が持たれたためである。専門家の意見は、今後のカナダ研究資金限度内で、曝露分布面積を数多くの住宅で測定し、観測された曝露について用量反応関係の有無を判断すべきであるとのことであった。CMHC は、どのような住宅性能の特徴がカビの問題、特に健康への影響を誘発させるカビを発生させるのかを理解するために、住宅性能の研究を立案し実施した。

ウォレスバークでの最初の現地調査[2,3]は 2 年にわたり実施された。最初の冬に約 400 軒で、カビ・家ダニ・猫の毛などのアレルゲン・内毒素・揮発性有機化合物 (VOC) の子供に対する曝露量を測定した。訪問した 402 軒のうち、376 軒からほぼ完全な結果を得ることができた。予想通り、曝露測定値にはかなりのばらつきが見られた。唯一の例外は、総揮発性有機化合物 (TVOC) であった。調査対象の全住宅のうち、カビの活動が活発な 40 軒と曝露の少ない 20 軒 (カビの発生活度を 3 つの測定方法に基づき点数化した) への訪問を 2 年目に行った。間際になって 40 軒のうちの 1 軒が不参加となり、さらに、曝露の少なかった住宅の 1 軒は、2 年目までにかなり汚染が進んでいることが



分かった。それでもなお、標本は十分に大きかったため、用量反応の適正レベルの影響を示すことができた。

子供たちの健康測定は、看護婦が記入するかなり詳細なアンケートの他に、血液標本の免疫学的分析や咳の記録によって行われた。健康アンケートは、看護婦の協力により反応がより正確に記録されているため自己申告された症状よりも信頼できるが、主要な健康反応には血液標本が選ばれた。

予測された結露の数カ所での測定と1種類の血液リンパ球測定(CD45O3CT)との間に、統計的に有意な相関関係が見つかった。血液検査時には、良くない住宅とされた1軒が実際は良かったというケースもあったが、カビ指数の点数に基づく良好住宅・不良住宅の選定によって、数種類の健康指標が十分に予測された。目に見えるカビの量や空気中のカビの数は、毎日家屋から発生する湿度量の大きさ、つまり計算上の室内湿度量レベルによって十分に予測可能である。

気密性の低い住宅では、気密性の高い住宅とは異なり、子供たちに血液リンパ球障害があるケースが幾分多くなりがちであった。ただし、部屋の中央の相対湿度からは、血液リンパ球の変化やカビの分布面積・数の予測はできなかった。また、TVOCの曝露による目立った影響はなかった。これは、それぞれの化合物濃度が低すぎて、個別の汚染物質の影響を詳細に調査するには至らなかったためである。

### 3. PEI 研究の目的

医療専門家と研究専門家とが話し合った結果、次回の調査に向けて研究目的が修正された。乳児の免疫システムはより過敏であり、さらに曝露はさほど複雑ではないことから(日中ほとんどの時間を家の中の同じ部屋で過ごすため)、住宅と乳児の健康について研究を進めることに決定したのである。東海岸の島にあるプリンスエドワードアイランド州(PEI)では、子供や大人の喘息の発病率が高く、また子供の入院の52%は呼吸器系疾患によるものである。州の保健当局の協力を得て、研究対象をPEIの新生児とし、進行中の研究計画に同意した妊婦を選定することから始めた。毎年、約60人の乳児が調査に加わっている。

健康調査の実施要項では、広範な吸気に関するアンケートと看護婦が管理する2週間毎の電話アンケート、続いて2年目には血液検査を行うこととなっている。また、症状を書き記すために、家庭日誌が参加者全員に配付された。母親の許可を得て、乳児の担当医に連絡を取り、病状の報告について確認を行っている。住宅への曝露や性能指針値に対する健康の影響や相関関係については、現在分析中で今回報告はしない。

この研究の住宅性能や曝露の測定に関しては、ウォレスバーグでの研究要項とほとんど同じではあるが、多少の変更が行われた。ウォレスバーグでは、VOCが重要な予測変数ではなかったため、VOCは測定されなかった。室内空気中のほこりや床・寝具類のほこりから、カビ・家ダニ・猫の毛などのアレルゲン・内毒素といった試料は再び採取された。短期的な空気交換率の測定が行われなかったのは、前回の研究で長期的な漏気の予測を向上させるように思われなかったためである(これらの研究では、継続的な換気測定にかかる費用を正当化することはできなかった)。ウォレスバーグの時のように、温度・相対湿度・二酸化炭素濃度が乳児の寝室で測定されたが、今回は2~3

日ではなく約1週間行った。ウォレスバーグの研究では、木材を燃焼する装置類が存在するだけでもカビの予測要因になったため、今回のアンケートでは住宅内での木材の使用や薪の保管量を調査した。

ウォレスバーグで行われたように、CGSB 実施要項[4]の修正内容を用いて、燃焼ガスが室内に漏れる暖房システムの性質が計測された。

住宅性能のデータ分析には数種類の測定法がある。1つは、短期の空気交換率の予測で、a)気密性測定、b)カナダ環境省の気象データ、c) Walker がアルバータ大学在籍時に開発した AIM2 換気予測実施要項の3つを使って、乳児の寝室の  $\text{CO}_2$ ・温度・相対湿度の15分間測定平均値に対応させる。もう1つは、研究主任である Morrison Hershfield 社の Mark Lawton が開発した実施要項を使って、結露回数の特徴を予測することである。また、空気交換率や温度・相対湿度といった室内外の環境パラメータを使って、換気によって室内に入る空気と出る空気に含まれる湿気の量やその差である室内湿度量のレベルを予測する。居住者やその活動パターンから、CMHC が80年代初頭に公表したデータを使って、毎日その家族が室内に持ち込んでいる湿度量の予測が行われる。

#### 4. 初年度の曝露調査結果の一部

目視可能なカビの分布面積とロイター遠心分離サンプラー(RCS)で採取した孢子の数の両方から求められた初年度始めの調査結果[5]では、カビの曝露量に大きなばらつきが見られる。計測されたカビの分布面積は0から114,098  $\text{cm}^2$ とさまざまで、算術平均は6,107  $\text{cm}^2$ 、標準偏差は15,784  $\text{cm}^2$ であった。調査員は、地下室の20%、窓枠の70%、乳児の寝屋の57%で目視可能なカビを見つけた。62%の住宅で居住者は昨年1年間に湿った状態があったことを認め、37%の家庭では、カビの臭いがあることに気が付いた。10軒の家屋(17%)では、調査当時、湿気のある状態であった。

RCS 結果にもかなりばらつきがあり、データ4回分の中で6~938  $\text{CFU}/\text{m}^3$ の幅があった。乳児の寝室では算術平均が95  $\text{CFU}/\text{m}^3$ 、標準偏差は102  $\text{CFU}/\text{m}^3$ である。93%の家庭では、4回採取したRCS 試料のうち1回分以上から、また試料の塊の49%から毒素産生性の菌種が同定された。検出可能なエルゴステロールが同定されたのは、わずか7つの寝室と9つの居間のサンプルからであった。寝室の内毒素濃度は0~65.2  $\text{ng}/\text{m}^3$ の範囲で、算術平均は2.5  $\text{ng}/\text{m}^3$ 、標準偏差は8.5  $\text{ng}/\text{m}^3$ であった。

報告期間中の長期の二酸化炭素平均測定値には、ウォレスバーグで見られたようなばらつきがあり、最低値419から最高値2,625ppmを示した。「カナダの住居室内空気質の曝露量指針」[6]では、 $\text{CO}_2$ の健康限度量を3,500ppmとしているが、これは直接健康へ影響を及ぼさない限度であり、換気率の限度を示すものではない。長期の平均  $\text{CO}_2$  濃度はそのレベルを超えてはいなかったが、ピーク時の数値が3,500ppmを超える寝室がいくつかあった。長期の平均読み取り値の算術平均は1,004ppmで標準偏差は418ppmであった。最も低い値は、乳児の寝室での一人当たりの空気交換率の効果が非常に高いことを示すが、2,625ppmという最高値は、一人当たりの換気率の効果がASHRAEが推奨する換気レベルの約15%に過ぎないことを示している。この場合は、明らかに住宅の換気に問題がある。



## 5. 初年度の住宅性能結果

初年度に調査された住宅は、PEIの住宅を代表する標本ではなかったため、今後はこの点の改善がなされ则认为する。都市部環境との対照をなすものとして、田舎にある住宅も調査したのは妥当であった。しかし、1990年代や1980年代に建築された住宅に偏っており、1980年代以前はこれ以外ほとんど使用されていなかったというくらい伝統的な39x89のスタッドではなく、38x140のスタッドの枠組みを用いた住宅が標準よりもかなり多かったため、代表的な住宅にはなりえなかった。

居住者一人当たりの住宅容量や暖房容量には、約1軒ほどの大きなばらつきが見られた。51軒の住宅には地下室があったが、おそらくこれはカナダ特有の実態であろう。多くの住宅には強制給排気暖房システムがなかったが、カナダでは異例のことであり、住宅の28%に集中換気システムが設置されているのは、並はずれた高い数字である。また、これも高い数字だが、10%の住宅が暖房の主な手段として暖炉を使用し、補助暖房として22%が薪ストーブを所有していた。13軒の住宅(22%)には、室内に1m<sup>3</sup>以上の薪の保管場所があった。

乳児の寝室の週平均温度は14.4℃から24.6℃で、算術平均は20.9℃、標準偏差は2.1℃であった。相対湿度の平均値のばらつきは、最小値22%から最大値51%までで、算術平均は35%、標準偏差は7%であった。これらの数値は、冬季にカナダの他の地域で計測された寝室の状態と大きくかけ離れてはいない。

必ずしもすべての住宅で気密状態の試験が成功したわけではなく、住宅によっては強風のために試験ができなかったことや、居住者が別の場所で暖房器具に薪を入れて燃やしたり、試験対象にならない複数世帯向け住居施設だったということもあった。通常の開口部分を塞がないという修正実施要項を用いて、気密性試験が成功した39軒の住宅については、等価漏気面積(ELA)が最小値88cm<sup>2</sup>から最大値1,781cm<sup>2</sup>まで異なり、算術平均は529cm<sup>2</sup>、標準偏差は477cm<sup>2</sup>であった。標準CGSB実施要項[4]により開口部は塞がれていなかったため、これらの数字を他の標準化されたデータと直接比較することはできない。しかし、外被を通じた空気交換率の見積もりを行うにはより有益である。88cm<sup>2</sup>のELAはカナダR2000住宅基準からしてもかなり気密性が高いが、最高値の1,781cm<sup>2</sup>は非常に気密性の低い住宅である。最低の気密性を示した住宅は、気密性が最高であった住宅よりも20倍も漏気が多く、ここでもこの住宅標本がかなり変動することが示された。したがって、住宅の測定平均値では、実際の住宅がどのようなものかを伝えることはできないと言える。

換気システムが設置され稼働している36軒の住宅で、そのシステムから出る強制換気推定量も含めて、週平均の空気交換率をデータから計算した。その率には最低値0.03AC/hから最高値2.02AC/hのばらつきがあり、算術平均は0.460AC/h、標準偏差は0.548AC/hであった。この平均値や範囲は、他の小グループのカナダの住宅から得た結果と大差ないものであった。他のカナダの住宅でも、計算値、計測値ともに0.03AC/hという非常に低い結果が得られている。普通、このような住宅には強制換気システムが必要だが、設置されていないか、換気システムはあっても稼働していないのが現状である。

使用データのあった 14 軒での暖房用木材消費量は、 $3.6 \text{ m}^3 \sim 29.0 \text{ m}^3$  とかなりの開きがあった。平均使用量は  $14.7 \text{ m}^3$  であった。薪の保管容量は、わずか  $0.01 \text{ m}^3$  から最高  $14.50 \text{ m}^3$ 、算術平均は  $5.87 \text{ m}^3$  であるが、それでもかなり大量である。

36 軒の住宅グループについて湿気総量の計算を行った結果、最低  $5.4 \text{ kg/d}$  から最高  $149.6 \text{ kg/d}$  まで、算術平均は  $36.4 \text{ kg/d}$ 、標準偏差は  $35.3 \text{ kg/d}$  であった。その数値より戸外から流入する湿気を差し引いて求めた室内湿気量レベルは、 $70.1 \text{ kg/d}$  から  $64.4 \text{ kg/d}$  で、算術平均  $14.7 \text{ kg/d}$ 、標準偏差は  $14.1 \text{ kg/d}$  であった。後者の数字はウォレスバーグの 59 軒から得られた調査結果に非常に類似している。

居住者に起因する湿気量を計算した結果には、それほど極端なばらつきは見られず、 $6.5 \text{ kg/d} \sim 31.9 \text{ kg/d}$  で、算術平均  $14.6 \text{ kg/d}$ 、標準偏差  $4.6 \text{ kg/d}$  であった。これもウォレスバーグの結果に類似している。

室内湿気量レベルと居住者に起因する湿気量レベルとの差が居住者に起因しない湿気量となり、その結果は  $717.8 \text{ kg/d} \sim 57.9 \text{ kg/d}$ 、算術平均  $70.1$ 、標準偏差  $15.2$  であった。概して、居住者が大半の湿気の発生原因になり得るといえよう。しかし、多くの場合、計算上の居住者関連の数値が、測定上または計算上の室内湿気量レベルの割合に比較してかなり高く、居住者に起因しない湿気量レベルがマイナスとなったり、小さすぎて別の場所の室内湿気量の大きさを求めることができなかつたりする。住宅の性能が、湿気量レベルを決定する原因となりそうである。居住者に起因する予測湿気量レベルが高すぎるようなので、その数値を再度検証すべきである。

## 6. 曝露と性能の相関関係

マイクロソフト社のエクセル 7.0a の相関機能を使って、データ格差を測るため予備的データ分析を行った。相関係数のフィッシャー変換を用いた結果、相関関係には統計上の有意性が見られた。ここで報告された関係性は、有意水準  $p = 0.05$  または  $P = 0.10$  で（この結果は 100 回のうち 95 回あるいは 100 回のうち 90 回という低い確率で正しいことを示す）帰無仮説を棄却している。

ウォレスバーグで行ったような気温や相対湿度の単純な測定は、通常、生物学的指標を示す重要な予測値ではない。ウォレスバーグの結果と異なったのは、強制換気システムの有無を問わず全住宅を対象として、室内湿気量レベルと目視可能なカビの分布面積との相関関係を求めなかったところにある。強制換気システムのない住宅を別途分析した場合、この相関関係に 0.349 という大きな影響を及ぼすが、PEI の住居には機械換気システムがないため、相関係数（フィッシャーの Z 係数）はウォレスバーグのものよりはるかに小さい。結果は以下の通り。

- ① 木材の使用が多いほど、カビの分布面積が広く、ほこりの中のエルゴステロール量や空気中の活動可能なカビ胞子の数が多い。
- ② 居住者に起因する湿気量レベルが高いほど、カビの分布面積やエルゴステロールの量が大きくなる。
- ③ 室内湿気量レベルが高いほど、内毒素の量は少なくなる。

大量の木材を室内に保管するとより多くのカビが発生するとこれまでは考えられていたが、その相関関係はなかった。寝室の相対湿度が高いほど、活動可能な空気中のカビ胞子数は増えるが、住

宅全体のカビ分布面積が増えるという関連性はない。ウォレスバーグでは気密性の低い住宅にカビの発生が多かったが、PEIでの調査ではその現象は見られなかった。

## 7. まとめ

2つの研究から、カビの曝露につながるものとつながらないものへの理解が進み、さらに若年層の健康へ影響を及ぼす原因を解明できるだろう。進行中の研究から現状で分った内容は以下の通り。

- 1) 気密性の低い住宅にカビが少ないわけではなく、むしろ多いかもしれない（ウォレスバーグの調査による）。
- 2) 室内中央の相対湿度はカビの生育の指標ではなく、部分的な密集度を表す。
- 3) 暖房用木材の使用はカビの生育を招くように思われる（考えられる理由がいくつか存在するため今後さらに調査を進める）。
- 4) 住宅は、大量に発生する湿気を処置しきれないために問題が発生する。

## 謝 辞

この調査は、カナダ連邦政府住宅庁であるカナダモーゲージ住宅社から大半の部分について資金援助を受けている。また、研究の中で健康に関する部分は、カナダ保健省を通じてエネルギー研究開発調査団から資金を得た。カールトン大学の J. David Miller 博士からは菌類に関する専門知識を提供していただいた。現地調査業者の大手 Jacques Whitford Environmental 社と共に Morrison Hershfield 社率いるコンサルタントチームによって住宅性能の調査が行われた。菌類分析は Mycotaxon Consulting の Tom Rand 氏によって行われた。

## 参考文献

- [1] Dales RE, Zwanenburg H, Burnett R, Franklin CA, 1991, *Respiratory health effect of home dampness and molds among children*, Am Rev Respir Dis, 134: pp 196-203
- [2] CMHC, 1995, *Moldy Houses: Why They Are and Why We Care*
- [3] CMHC, 1996, *Additional Analysis of Wallaceburg Data*
- [4] CAN/CGSB 149.10 M-86 *Determination of the Airtightness of Building Envelopes by the Fan Depressurization Method*
- [5] CMHC, 1998, *Housing Conditions, Biological Exposure and Health of Infants in PEI, Year End Report to 1997/98*
- [6] Health Canada, 1987, *Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality*

## CMHC 報告書の入手先：

Canadian Housing Information Centre (カナダ住宅情報センター)  
700 Montreal Road, Ottawa, Ontario, K1A 0P7 Canada  
電話：+1 (613) 748-2367

# **Development of Technology Contributing to a Wholesome Residential Environment**

**Yasuo KUWASAWA\*, Haruki OSAWA\*, Kazuaki BOGAKI\* and Hiroshi YOSHINO\*\***

**\*Building Environment, design and Fire Department, BRI, MOC, JAPAN**

**\*\*Department of Architecture & Building Science, Tohoku University, JAPAN**

## **Introduction**

Recently many chemical materials are used in Japanese house's interior, and painting material, etc. and part of it are emitted to the room. On the other hand, airtight of whole house is progressing rapidly from the demand for conservation of energy and thermal comfort. So, danger of "Indoor air chemical pollution" is pointed out in case of insufficient ventilation.

"Development of Technology Contributing to a Wholesome Residential Environment" of Ministry of Construction started in 1997 with the cooperation of the private company and person from a university and public research laboratories for a more detailed, more basic research.

In this paper, the plan of investigation and outline of the project's organization, the investigation and the measurement method in the indoor air

quality investigation and the investigation result based on it are reported.

## **Outline of the Project**

This research project of the plan was begun for three years. Three working groups (Investigation actuality W.G., Measuring emissions method W.G., Planning and construction method W.G.) are carrying out investigation actuality air quality and contamination emissions, construction database of contamination emissions from building products and proposal standard measuring and evaluating emissions method to propose building construction and material selection, ventilation equipment design, living guideline.

**Table 1 Investigation Items**

(1) Resident's attribute
Number of people, Family make-ups, and Life patterns, Life customs (air-conditioning setting, ventilation operation, and smoking, etc.)
(2) Attribute of construction and room
Location, Age of house, History of house, Peripheral environment, Construction method, Scale, Number of floors, Airtight grade, Size of room, Doors, Sunshiny situation, Surface type (ceiling, inner wall, and floor etc.), Opening type and opening spaces
(3) Environmental condition etc.
Emission condition (furniture, electric product, business machine, and various construction), Air-conditioning and ventilation equipment (specification, setting, and drive results, etc.)
(4) Physical measurement
External condition Insolation, Air temperature, Humidity, Velocity of the wind, and The weather
Indoor condition (room central above the floor level 1.2-1.5m) Air temperature, Humidity, Indoor velocity of the wind, Situation of insertion leaving a room, Pollution concentration (change with the lapse of time, integrated value, and mean value), Amounts of ventilation (mechanical ventilation and natural ventilation), Airtight levels

**Table 2 Measuring Procedure**

Open > Close > Meas. > Open > Close > Meas.					
0.5h	5h	0.5h	5min	1h	0.5h
Open: Open the Windows and Doors, Turn on the Ventilation equipment					
Close: Close the Windows and Doors, Turn off the Ventilation equipment, Prohibition of entering a room					

**Table 3 Investigation Number**

Region	Detached House	Apartment House
Hokkaido: Sapporo	5	1
Tohoku: Sendai	1	2
Kanto: Tokyo	7	11
Tokai: Nagoya	6	0
Kansai: Kyoto	7	1
Kyushu: Fukuoka	4	1
Total	30	15

## **Outline of the Investigation**

### ***Investigation Items and Procedure***

The investigation items are as shown in Table 1. The measuring procedure is shown in Table 2. "Measurement after open windows etc. for 30 minutes, and close windows etc. for eight hours" of the ISO/TC146 proposal is often used in the active sampling method. But it is too difficult to wait for equilibrium of concentration at actuality investigation. So at this time investigation we measured concentration after closing windows etc. for five hours and one hour. It will be able to predict maximum concentration from these two data.

### ***Investigation object and time***

The investigation objects which have variation in the region and the building type (detached / apartment house) as showing in Table 3 are selected. The construction type of All apartment houses is reinforced concrete. The construction of detached houses is mainly timbered. The investigation number of houses is 45(107 rooms). The investigation time is summer from the spring of 1998, and the investigation continues afterwards.

Because the sample with the item not measured is included, total number is not necessarily corresponding. Moreover, they were all processed as a separate value though it was measured



in two or more rooms in the same house or measured in the same room at another date.

## Results and Discussion

### Attribute of the Object House

The relation between house type and equivalent leakage area is shown in Figure 1. It does not have regional bias and are almost average group in insulation and airtight factor. Equivalent leakage area is wide within the range of 2-7 in the detached house while in the apartment house has concentrated on 1-3. All model houses in the figure were detached, built before less than four years and airtight type. The correlation of the concentration of HCHO and airtight is very low because that was buried in the influence of another factor (Figure 2).

### Measurement, Analysis Method, and Concentration of Formaldehyde

The concentration of HCHO by DNPH/HPLC was considered to be a reference, and the comparison with the measurement value by the Kitagawa's type detector tube method was attempted. (Figure 3). The value of detector tube is about 60% larger as seen in the regression line on the average. It is thought that the decrease of accuracy is caused easily by the measurement with the laboratory, and a lot of problems which should be solved

have been left in the adoption of a simple method on an actual measurement site where a lot of obstructions like acetaldehyde, the temperature humidity change, and ventilation, etc. and the error factors exist.

### House Type and Concentration of Formaldehyde (DNPH/HPLC method)

Figure 4 shows the relation between the house type and the concentration of the indoor HCHO (DNPH/HPLC method). The average in the detached house is about 0.1ppm. The apartment house is distributed to 0-0.45ppm, and the model house has concentrated on 0.04-0.16ppm. The difference of the construction materials specification stood out in the apartment house.

### Measurement Condition and Concentration of Formaldehyde (DNPH/HPLC method)

It is pointed out that the temperature has a strong influence on the amount of the HCHO emission. Figure 5 shows the relation between data of the concentration of HCHO and the air temperature (average in the measurement time). A strong correlation can be obviously perceived though the factor of the construction materials specification and the amount of ventilation is not considered, and the



necessity of the set control or the correction is suggested.

Mulch Regression Analysis of Concentration of Formaldehyde (DNPH/HPLC method)

Four factors shown in Figure 6 were selected based on the above-mentioned examination result and we predict the concentration of HCHO by mulch regression analysis. It can be said that the temperature and humidity has large influence on concentration, on the other hand closing time has not so much influence.

Closing Time and the TVOC Concentration (Fig. 7)

There are some data of showing a very high concentration even if closing time will not come up in 15 hours while there are some data which are low concentration at closing time to exceed 15 hours. High airtightness of the house or large amount of emission of VOC is looked for about the latter.

The Concentration of Formaldehyde (DNPH/HPLC method) and the TVOC (Fig. 8, 9)

The correlation is seen by the group which falls below TVOC concentration 5000 micro-g/m<sup>3</sup>, and the TVOC concentration rises along with the rise of the concentration of HCHO too. Moreover, even if it is a same

concentration of HCHO, TVOC concentration of the apartment house is higher than detached. The correlation was very low by the group which exceeded TVOC concentration 5000 micro-g/m<sup>3</sup>. All of these were now houses.

The Average Air Temperature and the TVOC Concentration (Fig. 10)

(The measurement data of 5-6.5 hours closing later and TVOC concentration 2500 micro-g/m<sup>3</sup> or less was made an object in the analysis hereafter in consideration of a distribution of data and an effective number of data.)

Very high, positive correlation is seen, and it is thought that the radiation of VOC is influenced by the temperature greatly. Moreover, if the temperature is lowered to about 20 centigrade degree, it is possible to keep the state of a low concentration comparatively.

Relative Humidity and the TVOC Concentration (Fig. 11)

Positive correlation is seen though it is not a correlation high like the temperature. However, it is thought that the interaction with the temperature is included in this data.

Age of the Houses and the TVOC Concentration (Fig. 12)

Negative and weak is seen. This

is thought to be a result by which the amount of emission of VOC decreases by aged of the material. Moreover, there was an example which was the TVOC concentration exceeded 3000 micro-g/m<sup>3</sup> though two years passed, in the model house, probably because of no resident take care the house (ventilation etc.). (They were not shown in figure because it was too high concentration.)

#### *The Equivalent Leakage Area and the TVOC Concentration (Fig. 13)*

Weak negative correlation is seen too. It is thought that the result that the concentration is suppressed low by ventilation from the leakage.

#### *Measurement, Investigation and General Method*

It was left as a problem that airtight and the air change ratio measurement's having stayed in only half of execution from the restriction of residence etc., and sample of the apartment house was biased to the Kanto area.

#### *Conclusion*

On this research the actuality of indoor air quality was investigated and the part of it was shown, though it was insufficiency of data. Moreover, the suggestion in the improvement was obtained by trying and verifying the proposal of the method of measuring the

investigation. A new plan of measurement is scheduled, and reliability will be improved by accumulating data.

#### *Reference*

Osawa, Bogaki, Yoshino: Development of Technology Contributing to a Wholesome Residential Environment Part 1 Summary of Project and Trial Survey, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting AIJ, D-2, p.785, 1998

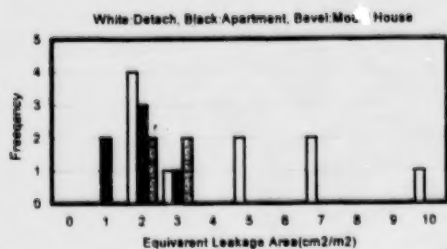


Fig. 1 House Type and Equivalent Leakage Area

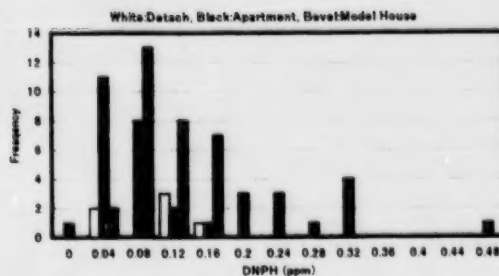


Fig. 4 House Type and HCHO(DNPH)

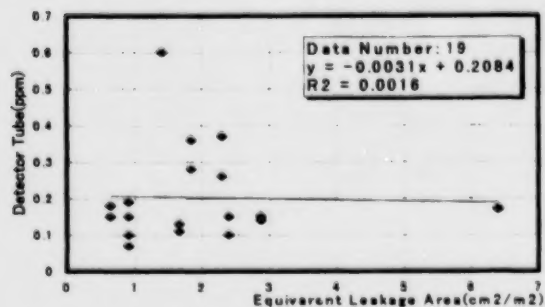


Fig. 2 Equivalent Leakage Area and HCHO (Detector Tube)

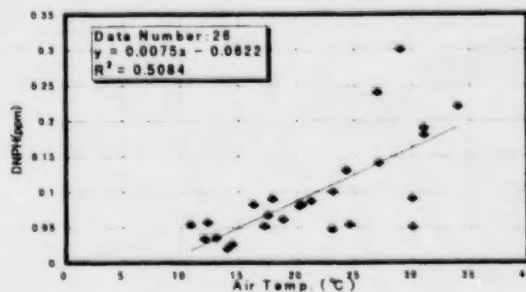


Fig. 5 Air Temp. and HCHO(DNPH)

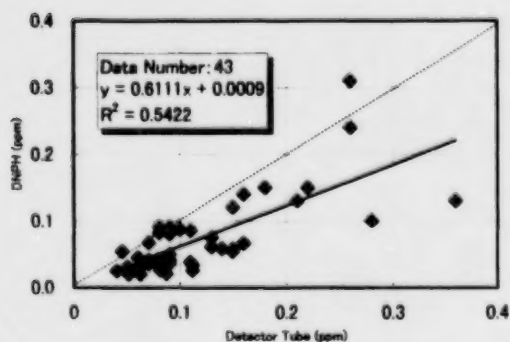


Fig. 3 Detector Tube and HCHO(DNPH)

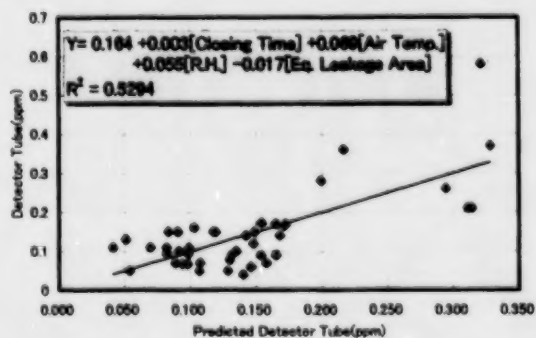


Fig. 6 Multi Regression Analysis

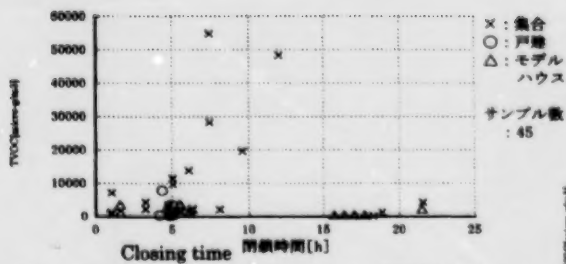


Fig. 7 Closing Time and the TVOC

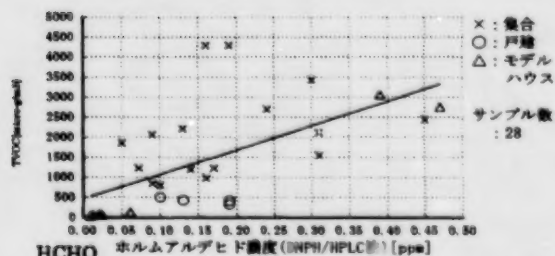


Fig. 8 HCHO(DNPH/HPLC) and TVOC

(TVOC < 5000 micro-g/m3)

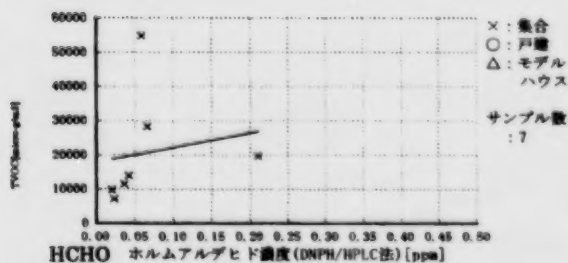


Fig. 9 HCHO(DNPH/HPLC) and TVOC

(TVOC > 5000 micro-g/m3)

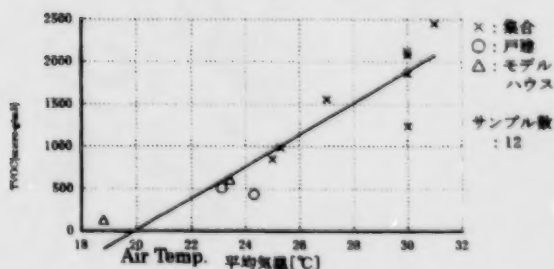


Fig. 10 Air Temp. and TVOC

(TVOC < 2500 micro-g/m3)

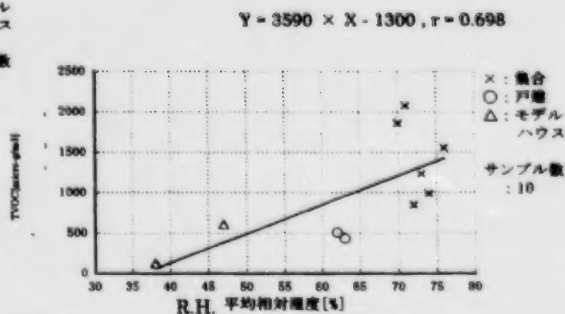


Fig. 11 Relative Humidity Temp. and

TVOC (TVOC < 2500 micro-g/m3)

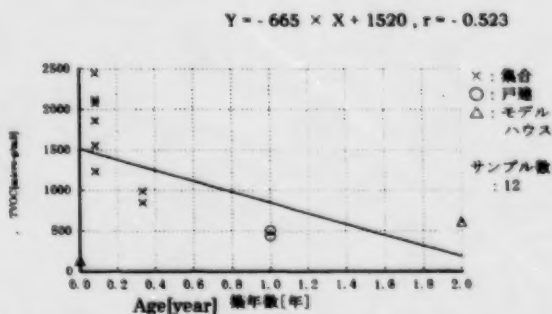


Fig. 12 Age of the House and TVOC

(TVOC < 2500 micro-g/m3)

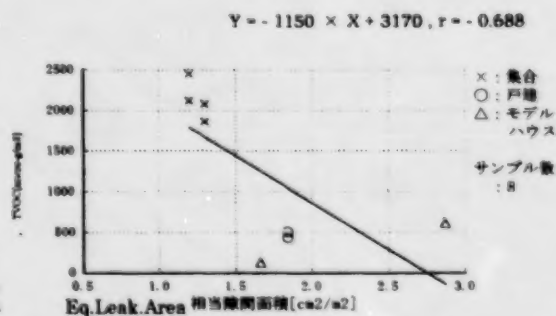


Fig. 13 Equivalent Leakage Area and

TVOC (TVOC < 2500 micro-g/m3)

Marks Cross : Apartment House

Circle : Detached House

Delta : Model House

# 健康的な居住環境形成技術の開発

桑沢 保夫\*<sup>1</sup>, 大澤 元毅\*<sup>1</sup>, 坊垣 和明\*<sup>1</sup>, 吉野 博\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> 建設省建築研究所第五研究部, \*<sup>2</sup> 東北大学大学院工学研究科

## 1. はじめに

日本の住宅においては近年様々な化学物質が木質・内装・塗装材などに広く使用されるようになり、その一部は室内に放散されている。一方、省エネ性と快適性改善への要望から建築全体の気密化が急速に進行しつつあり、開放型ストーブから放出される燃焼排気などとともに相まって、換気が不十分な場合にはそれらが滞留し、「室内空気質汚染」を惹起する危険性が指摘されている。

建設省ではかねてより健康住宅研究会を組織するなどの対応を重ねてきたが、平成9年度より民間および学識経験者の協力を得て官民連帯共同研究「健康的な居住環境形成技術の開発」を発足させ、より詳細かつ基礎的な研究開発を開始することとなった。

本報では、その研究計画と組織の概要、実態調査部会で実施した室内空気質調査における調査・測定法と、それに基づく調査結果について報告する。

## 2. 研究計画の概要

本研究プロジェクトは、民間企業、大学・公的研究機関からの有識者および建築研究所が協力して三年計画で開始され

た。最終的に建築構造・材料選択、換気設備設計および住まい方に関するガイドラインを提案するため、空気質実態の把握、汚染物質発生実態の把握、建材等からの汚染物質発生量原単位データベースの構築、標準的発生量測定・評価方法の提案などの作業を三部会（実態調査、発生量測定法、設計施工法）に分かれて検討している。

## 3. 調査概要

### (1) 調査項目・手順

調査項目は表1に示すとおりである。また、測定時の手順を表2に示す。アクティブサンプリング法では、ISO/TC146提案の「30分開放、8時間閉鎖後測定」などがよく用いられるが、時間的制約の厳しい実態調査においては所要の平衡を待つことが困難なことが多く、調査実施上大きな障害となっている。そこで、今回の調査では、最大濃度法においては平衡達成までの時間が重要であることを承知した上で、閉鎖時間を5時間および1時間とした方法により測定を行うこととした。これら2点のデータにより濃度の上昇特性を推測することで平衡時間の不足を補うことが期待される。



表 1 調査項目

(1) 居住者の属性
人数、家族構成、生活パターン 生活習慣（暖冷房設定、換気操作、喫煙等）
(2) 建築・室の属性
立地条件、竣工時期、居住歴、周辺汚染源 構法、規模、階数、気密グレード 室寸法諸元、他室との接続開口、日照状況 仕上げ種別（天井・内壁・床ほか） 開口部種別、開口面積
(3) 調査測定時の環境条件等
発生条件（家具、電気製品、事務機器、各種工事） 暖冷房・換気設備（仕様・設定・運転実績など）
(4) 物理測定
外界条件： 日射、気温、湿度、風速、天候 室内条件（室中央床上 1.2～1.5m）： 気温、湿度、室内風速、入退室状況 汚染質濃度（経時変化・積算値・平衡値） 換気量（機械換気および自然換気） 気密性水準

表 2 測定手順

開放 → 閉鎖 → 測定 → 開放 → 閉鎖 → 測定
0.5h    5h    0.5h    5min    1h    0.5h

開放：開口部開放、換気設備作動、空調停止

閉鎖：開口部閉鎖、換気設備停止、空調停止、  
入室禁止

表 3 地域別調査戸数

地域	戸建住宅	集合住宅
北海道：札幌	5	1
東北：仙台	1	2
関東：東京	7	11
東海：名古屋	6	0
関西：京都	7	1
九州：福岡	4	1
合計	30	15

## (2) 調査対象・時期

調査対象は、共同研究の参加各社および学識委員の協力を得て、表 3 に示すように地域性と建物種別（集合／戸建）に幅のある対象を選定した。集合住宅はすべてが RC 構造、戸建住宅は木造が主で、軸組工法、桝組壁工法、工業化住宅を含む。調査戸数は 45 戸（107 室）である。調査時期は平成 10 年春から夏であるが、その後も調査は継続している。

なお、測定されていない項目のあるサンプルも含まれるため、総数は必ずしも一致しない。また、同一の住宅であっても複数の部屋で測定されている場合や、同一の部屋であっても別の日時に測定されている場合もあるが、それらはすべて別々の値として処理を行った。

## 4. 測定結果及び考察

### (1) 対象住宅の属性

図 1 に住宅種別と相当隙間面積（ $\alpha A'$ ）の関係を示す。集合における  $\alpha A'$  が 1～3 に集中しているのに対し、戸建では 2～7 の範囲に広がっている（10 を越えた住宅は仕上げ未完のため除外した）。図中のモデルハウスは全て戸建・築年数四年以内で、気密化の施された物件であった。また、気密性に地域的な片寄りは見られず、断熱・気密性とも、ほぼ平均的な対象群となっている。

なお、他要因の影響に埋没して、室内濃度と気密性との相関はほとんど見られなかった（図 2）。

### (2) 測定・分析方法とホルムアルデヒド濃度

現段階で最も定評のある DNPH カート



リッジ捕集/HPLC 分析の結果をリファレンスと見なし、北川式検知管法による測定値との比較を試みた(図3、ホルムデジタルキャッチャーとホルムテクターについても同様の比較を行ったがサンプル数が少ないため割愛)。決定係数 0.54 を得たが、回帰式に見られる通り検知管法の値は平均して約 60%ほど大きめである。DNPH/HPLC 法自身の誤差も考慮すべきだが、 $\Delta T$ ・湿度変動・換気など妨害・誤差要因が多数存在する実際の測定現場においては、実験室での測定より精度低下が生じやすく、簡易法の採用には解決すべき課題が多く残されていると考えられる。

### (3) 住宅種別とホルムアルデヒド濃度 (DNPH/HPLC 法)

住宅種別と室内ホルムアルデヒド濃度(DNPH/HPLC 法)の関係を図4に示す。戸建はデータ数が少ないが平均 0.1ppm 前後、集合は無検知~0.45ppm に分散、モデルハウスは 0.04~0.16ppm に集中している。戸建はごく最近建築された対策仕様が多数のに対し、モデルハウスは築後数年の未対策仕様で換気不十分な住宅が多いように思われる。また、集合では建材仕様のバラツキが目立った。

### (4) 測定条件とホルムアルデヒド濃度 (DNPH/HPLC 法)

規定或いは把握すべき条件の中でも、温度はホルムアルデヒド発生量に大きな影響を及ぼすことが指摘されている。本調査において収集されたホルムアルデヒド濃度データと室温(測定時間内の平均)との関係を図5に示す。言うまでもなく建材仕様や換気量の要因を考慮していな

いにもかかわらず、強い相関性が明らかに見て取れ、その設定制御或いは補正の必要性が示唆されている。

### (5) ホルムアルデヒド濃度 (DNPH/HPLC 法)に関する重回帰分析

以上のような検討結果を踏まえ、図6に示す四因子を選定して重回帰分析/予測式作成を行った。閉鎖時間に大きな意味は認められない一方、温度、湿度の影響が大きいことが改めて確認されたと言えよう。

### (6) 閉鎖時間とTVOC濃度(図7参照)

15 時間を超える閉鎖時間でも低濃度である測定例がある一方で、閉鎖時間が 15 時間に満たなくても他に比べて非常に高い濃度を示している測定例がある。後者については、VOC の多量な発生や住戸の気密性の高さがうかがわれる。

### (7) ホルムアルデヒド濃度 (DNPH/HPLC 法)とTVOC濃度 (図8、図9参照)

TVOC 濃度  $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を境界として、その上下でグループに分けて考えると、TVOC 濃度  $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を下回るグループに相関が見られ、ホルムアルデヒド濃度の上昇に伴って TVOC 濃度も上昇している。また、サンプル数は少ないが戸建と集合を比較すると、同程度のホルムアルデヒド濃度であっても集合の方が TVOC は高濃度となっている。TVOC 濃度  $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を越えるグループにはあまり相関が見られないが、これらはいずれも新築の物件であった。

#### (8) 平均気温とTVOC濃度(図10参照)

(以後の解析ではデータの分布状況や有効なデータ数を考慮し、閉鎖 5~6.5 時間後、TVOC 濃度  $2500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下の測定データを解析対象とした。)

非常に高い正の相関が見られ、気温によって VOC の放散が大きく影響されていると考えられる。また、気温を  $20^\circ\text{C}$  程度に下げれば比較的低濃度の状態となることが考えられる。

#### (9) 相対湿度とTVOC濃度(図11参照)

気温ほど高い相関ではないが、やはり正の相関が見られる。ただし、このデータには気温との相互作用も含まれていると考えられる。

#### (10) 築年数とTVOC濃度(図12参照)

弱いながら負の相関が見られる。これは、材料の経年変化により VOC の発生量が減少していくことを示す結果と考えられる。

また、高濃度であったため図には示されていないが、モデルハウスにおける測定結果では、居住者による換気などが行われていないためか、築後 2 年が経過しているにもかかわらず、 $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を越える TVOC 濃度となっている例もあった。

#### (11) 相当隙間面積とTVOC濃度

(図13参照)

これも弱い負の相関が見られる。隙間からの換気によって濃度が低く押さえられる結果を示すと考えられる。

#### (12) 調査・測定方法全般

気密/換気回数測定が機材と居住者都合の制約から約半数の実施にとどまったこと、集合住宅のサンプルが関東地方に片

寄ったことなどが課題として残された。

### 5. おわりに

本研究は、発生源対策、換気対策何れにも大きな障害となっている実態データ不足解消の一端を担うものであり、その一部を垣間見ることができた。また、調査測定方法に関する提案を試行・検証して改善への示唆を得ることができた。

今後も新たな測定が予定されており、データを蓄積することによって信頼性を高めていく予定である。

### 【参考文献】

大澤・坊垣・吉野「健康的な居住環境形成技術の開発/第一報 全体計画と試行調査の概要」,1998 年建築学会大会梗概集、官民連帯共同研究平成九年度報告書,1998 年 10 月,建築研究所

注) 本プロジェクトは、民間企業、大学・公的研究機関からの有識者及び建築研究所が協力して開始され、最終的に建物構造・材料選択、換気設備設計及び住まい方に関するガイドラインを提案するため、空気質実態の把握、汚染物質発生実態の把握、建材等からの汚染物質発生量原単位データベースの構築、標準的発生量測定・評価方法の提案などの作業を、四部会(実態調査、発生量測定法、設計施工法、モデルケース検討)に分かれて検討している。最後に調査に協力いただいた委員諸氏及び多くの居住者の方々に謝意を表します。

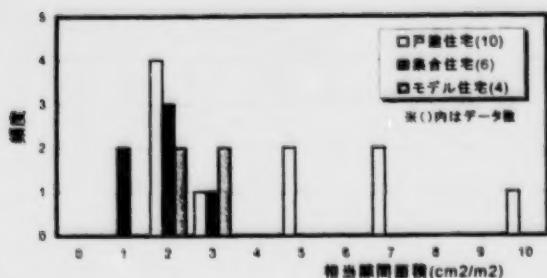


図 1 住宅種別と相当隙間面積

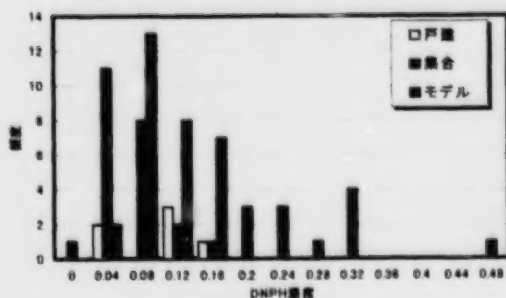


図 4 住宅種別と DNP-H 法濃度分布

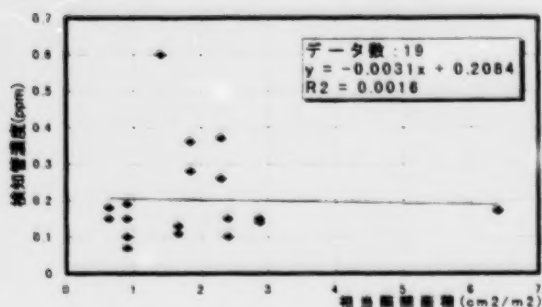


図 2 相当隙間面積と検知管法濃度  
(5時間閉鎖後)

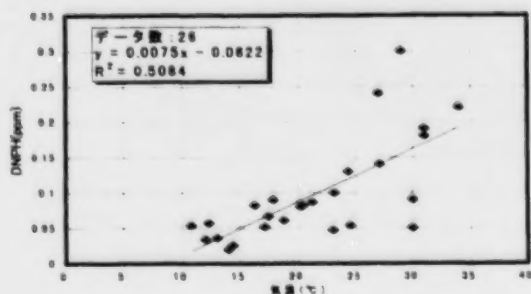


図 5 気温と DNP-H 法 (5時間閉鎖後)

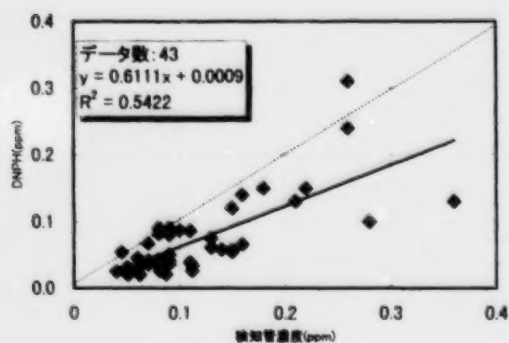


図 3 検知管法と DNP-H 法の関係

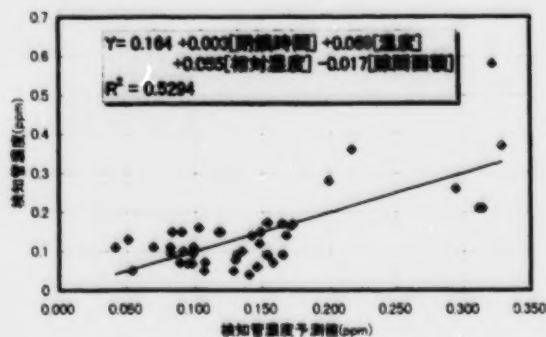


図 6 重回帰分析

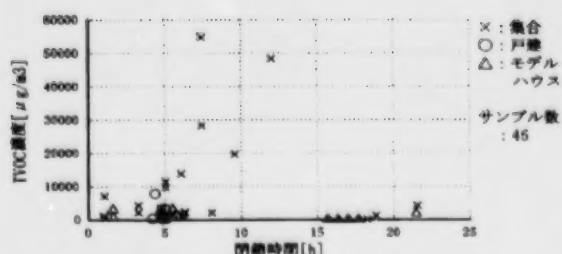


図 7 閉鎖時間と TVOC 濃度の関係

$$Y = 6090 \times X + 473, r = 0.610$$

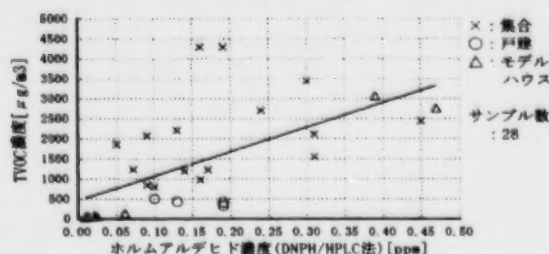


図 8 ホルムアルデヒド濃度 (DNPH/HPLC 法) と TVOC 濃度の関係

(TVOC 濃度  $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下)

$$Y = 42300 \times X + 18100, r = -0.168$$

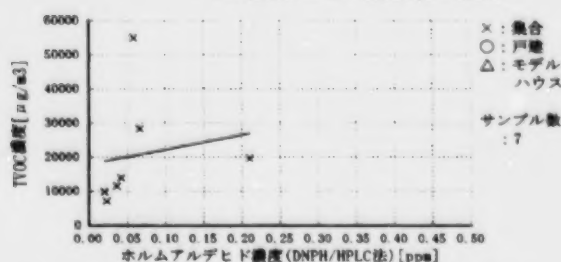


図 9 ホルムアルデヒド濃度 (DNPH/HPLC 法) と TVOC 濃度の関係

(TVOC 濃度  $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以上)

$$Y = 187 \times X - 3720, r = 0.921$$

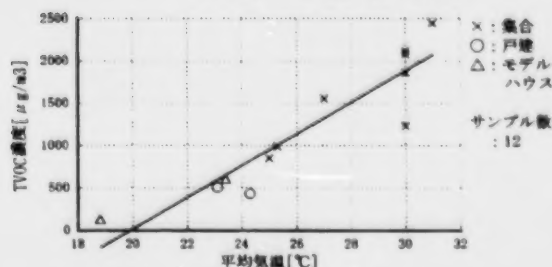


図 10 平均気温と TVOC 濃度の関係

(閉鎖 5~6.5 時間後、TVOC 濃度  $2500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下)

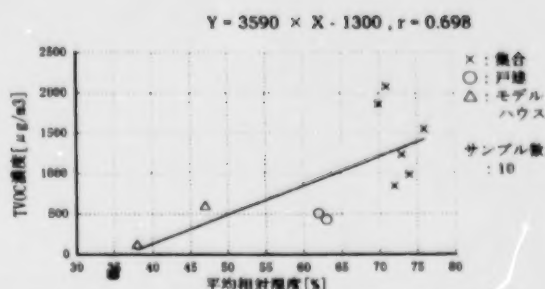


図 11 相対湿度と TVOC 濃度の関係

(閉鎖 5~6.5 時間後、TVOC 濃度  $2500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下)

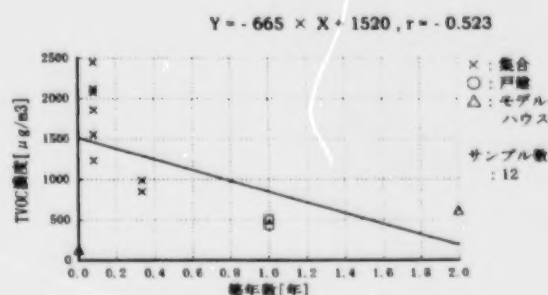


図 12 築年数と TVOC 濃度の関係

(閉鎖 5~6.5 時間後、TVOC 濃度  $2500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下)

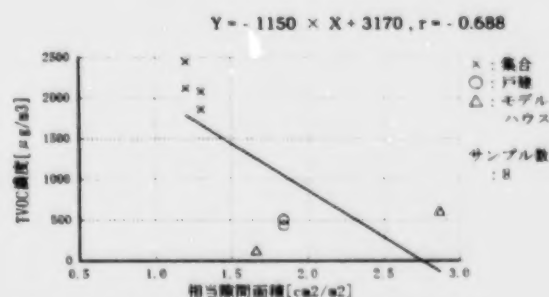


図 13 相当隙間面積と TVOC 濃度の関係

(閉鎖 5~6.5 時間後、TVOC 濃度  $2500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下)

# INDOOR AIR QUALITY LEVELS IN HOMES OF ENVIRONMENTALLY HYPERSENSITIVE INDIVIDUALS

C.Y. Shaw<sup>1</sup>, V. Salares<sup>2</sup>, R.J. Magee<sup>1</sup>, and M. Kanabus-Kaminska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Research in Construction, National Research Council and

<sup>2</sup>Canada Mortgage and Housing Corporation

## ABSTRACT (No.49)

Tests were conducted in six houses before renovation to measure various physical parameters related to their indoor environments. These parameters included ventilation rates, air distribution patterns, continuous monitoring of concentrations of carbon dioxide and total hydrocarbons, air temperatures, relative humidity, spot samples of volatile organic compounds, and formaldehyde. Samples of carpets and underpads, where applicable, were also tested to identify the major volatile organic compounds emitted by them.

For comparison, identical tests were conducted in two reference houses. One was a 15-year old non-custom built house occupied by a family of four with no apparent health problems. The other was a custom built house for a family with environmentally hypersensitive occupants. This paper presents the results of the measurements.

## INTRODUCTION

Six test houses were studied, each of which appeared to either cause or aggravate health problems for at least one of the occupants [1]. Tests were conducted in each house to measure various parameters affecting its indoor air quality. Sampling for biological contaminants was conducted separately by another organization. Details of the biological contaminant measurement are beyond the scope of this paper. In addition to the test houses, two reference houses, R1 and R2, were also examined. House R1 is a standard two-storey house with a finished basement, occupied by a family of four with no apparent health problems. The house had a conventional forced-air heating system with no heat recovery ventilator. House R1 was also tested before in a Canada-wide study of air-tightness involving 195 houses. Based on that study, it was concluded that the measured ventilation condition was similar to that in most non-custom houses of a similar age [2]. The results of House R1 provide a good indication of indoor air quality in Canadian houses. House R2 was designed, built and furnished with both low emission materials and a ventilation system to minimize indoor air pollution. It has successfully provided an acceptable indoor environment for several family members who suffer from asthma and environmental hypersensitivity. House R2 gives a good indication of how much the VOC levels can be reduced in a house with current construction techniques, and available building materials and furnishings. A brief description of the test houses is given in Table 1.

This paper summarizes the principal findings.

## METHODS

Tests were conducted to assess the performance of the heating and ventilating system of each house. This was assessed on the basis of air change rates and air distribution patterns. Tracer gas techniques were used [3]. Also, measurements were conducted to assess the air temperature and relative humidity in the occupied areas.

Measured chemical contaminants included carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), formaldehyde (HCHO), volatile organic compounds (VOCs).

CO<sub>2</sub> concentrations were monitored continuously at several locations, using an infrared CO<sub>2</sub> analyzer. Spot measurements of formaldehyde concentrations at locations throughout the test houses were conducted using a portable analyzer with an electrochemical voltametric sensor. For



measuring the VOCs, air samples at the houses were collected on three-layer sorption tubes packed with glass beads, Tenax and synthetic charcoal. After the sample was thermally desorbed, 4% of the gas stream was directed to a flame ionization detector for measuring the total VOCs while the remaining sample was piped through the GC column for GC/MS analysis [4]. Cyclohexane standards were used for calibration of both the FID and MS detectors. VOC sampling was conducted coincidentally with air change testing so that the house air change rate at the time of the VOC samples was known. Where possible, samples of carpet, underpad, and any other suspected primary VOC sources in the houses were taken, wrapped in a black polyethylene bag and returned to the laboratory for headspace analysis, using the method specified in the ASTM D5116-90 [5].

## RESULTS AND DISCUSSION

As shown in Tables 2 and 3, for the six test houses, the indoor air temperatures ranged between 19° and 29° C, which were similar to those for other Canadian houses. The air change rates were similar to or greater than that of House R1. The CO<sub>2</sub> concentrations were also similar to those observed in House R1. The formaldehyde concentrations varied from 0.01 to 0.1 ppm, all within the Health Canada Exposure Guidelines [6]. High relative humidity levels of 73% and 62% were measured in Houses I and IV, respectively. The relative humidity levels in the other four houses were between 20% and 50%.

Except for Houses IV and VI, the ventilation air was well mixed with the air in the house. For House IV, the air moved freely from the house to the indoor swimming pool area and vice versa. There was little or no air movement between the house and the occupied office, and between the swimming pool area and the occupied office. It should be pointed out that the office was the only area of the house where the wife of the owner could stay for a prolonged period of time. Also, for House VI, there was some air movement from the furnace room to the living area. In addition, a noticeable amount of air movement from the garage to the house was found.

Biological contamination measurements indicated that the levels of biological contamination in Houses I, II, and V exceeded the normal limits recommended by the American Industrial Hygienists Association. All other houses were within the normal limits, except for House VI which was on the borderline.

Specifically, *P. brevicompactum*, a toxigenic mold, was found in Houses I (basement), II, III (crawl space), V, and VI. In addition, the basement of House I had *P. verucossum*, also a toxigenic mold. *P. aurantiogriseum* and *Trichoderma viride* were detected in both Houses II and IV. Also, *P. frequentans* was found in House IV. *Stachybotrys chartarum* and *P. fellutanum* were found in House V. *Paecilomyces varioti* was found in House VI. For the two reference houses, *Gliocladium* (related to *Penicillium*), normally found in plants and salt marshes/soil, was found in House R1, and *phylloplane* was detected in House R2.

VOC measurements indicated that the TVOC levels inside the houses were either within or below the typical range for houses [4]. No identified VOC had a concentration greater than 0.8 mg/m<sup>3</sup>. Several VOC compounds existed in these houses that were not detected in House R2. These VOCs included Cl and F groups of compounds, aromatic (benzene, toluene and xylene), a group of oxygenated compounds and hydrocarbons including propane to decane, and terpenoids. It should be pointed out that all these compounds were detected in House R1. The results indicate that the indoor air quality conditions in all six houses, in general, were similar or better than House R1.

The results also suggest that except for biological contaminants, the levels of other indoor air quality-related parameters in the six houses were similar to that of most Canadian houses typically represented by House R1. House R2, which was specially designed and built for environmentally



hypersensitive individuals had the best indoor air quality. Further studies in more homes experiencing similar problems are needed to determine if this is merely a coincidence.

In addition, the study has identified some of the potential problems in these six houses:

- House I: wall-to-wall carpet in the main bathroom; bare earth floor in the basement,
- House II: missing a section of supply air duct for the HRV; plastic duct used for HRV; holes in the main supply air duct in the floor joist space above the basement ceiling; exposed insulation; and possible presence of carbamate pesticide residues in the basement,
- House III: visible moisture caused by flooding and influx of the air in the crawlspace to the house,
- House IV: flooding problems; air movement between the indoor swimming pool area and the house; possible influx of chemicals used by an adjacent golf course for fertilizing and weed controls,
- House V: serious moisture problems,
- House VI: no air circulating system; potential influx of vehicle exhaust from street through leaky house envelope; influx of the air in the furnace room into the living area; and possible presence of molds.

The results have been used to recommend remedial measures for renovating these houses. Five of these houses have been or are being renovated and follow-up tests have been conducted.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported financially by the Institute for Research in Construction, National Research Council and Canada Mortgage and Housing Corporation. Also acknowledged are the contributions of Drs. James Reardon and Jiping Zhu who reviewed the paper and Ms. Ewa Luszyk who helped with VOC analysis.

#### REFERENCES:

1. Salares, V. and Russell, P. 1996. Diagnosing and Mitigating Indoor Air Quality Problems in Canadian Houses, Proceedings, Indoor Air '96, Vol. 4, pp.313-318, Japan.
2. Haysom, J.C., Reardon, J.T. and Monsour, R., 1990. Survey of Airtightness of New, Merchant Builder Houses, Proceedings, Indoor Air '90, Vol. 4, pp.263-268, Toronto, Canada.
3. Shaw, C.Y. 1993. Application of Tracer Gas Techniques to Ventilation and Indoor Air Quality Investigations. Indoor Environ. Vol.2, pp 374-382.
4. Tsuchiya, Y. and Kanabus-Kaminska, J.M. 1992. Volatile organic compounds in Canadian indoor air", Conference Proceedings, Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation: 5th International Jacques Cartier Conference, pp131-138, Montreal, Quebec, Canada.
5. ASTM D5116-90 (1990). Standard guide for small-scale environmental chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products, ASTM.
6. Health Canada. 1987. Exposure guidelines for residential indoor air quality, Health Canada.

**Table 1: Test House Details**

House	Test Date	Style	Age, yrs	Ft <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	Basement	Garage	Heating	HRV	Remarks
I	04/93	2-Storey	50	1400(130)	Half	No	Electric	No	Dirt floor in basement
II	04/93	2-Storey	2	3000(280)	Full	Double	Electric	Yes	Disconnected air ducts
III	05/93	2-Storey	3	1100(100)	Crawlspace	No	Gas	No	Flooding crawlspace
IV	06/93	Townhouse 1-Storey + over garage	2	3700(345)	Full	Double	Electric & Wood Stove	No	Flooding basement Adjacent to a golf course
V	12/93	Bungalow	20	1200(110)	Full	Single	Gas	Yes	Moisture problems
VI	03/94	Split	25	3000(280)	Full	Double	Hot water	No	
R1	09/93	2-Storey	14	1900(175)	Full	Double	Gas	No	
R2	10/93	Bungalow	8	1800(165)	No	No	Electric	Yes	

**Table 2: Summary of Measured Data in Test Houses and Reference Houses**

House	Outdoor Temp °C	Indoor Temp. °C	RH %	Wind km/h	Ventilation Rate ach	Mixing Time min.	HCHO ppm	CO <sub>2</sub> ppm
I	9.9 - 17	19 - 25	40 - 73	20 - 24	0.52 - 0.72	60	0.01 - 0.02	460 - 1350
II	5 - 6	21 - 23	32 - 40	22 - 45	0.34 - 0.37	30	0.04 - 0.05	340 - 600
III	18 - 25	20 - 27	40 - 50	9 - 28	0.38 - 0.65	45	0.04 - 0.07	375 - 600
IV	-0.6 - -5.2	20 - 29	50 - 62	6 - 13	0.12 - 0.31	55	0.04 - 0.1	350 - 670
V	3 - 6	21 - 25	33 - 41	15 - 18	0.52 - 0.54	45	0.01 - 0.01	470 - 910
VI	-0.6 - -5.2	20 - 25	20 - 29	6 - 13	0.73 - 0.81	-	0.02 - 0.05	360 - 1150
R1	22 - 24	23 - 25	45 - 58	6 - 9	0.14 - 0.15	60	0.06 - 0.09	500 - 2500
R2	7 - 15	21 - 22	35 - 50	4 - 41	0.52 - 0.67	30	0.01 - 0.01	140 - 1700

**Tables 3, Volatile Organic Compounds for Houses I, II, R1 and R2[mg/m3]**

Compound	House I				House II		
	BPM02 Living	BPM04 2nd BR	BPM03 Basement	BPM05 Family	BPM06 Office	BPM07 Basement	BPM08 M BR
C3 & C4	44	11	68	15	48	70	32
Cl & F	181	6	22	10	10	12	-
Ethanol	16	12	16	22	25	30	28
Acetone	47	30	39	68	68	69	59
Other Ox.	-	-	-	16	11	41	12
Aromatic	93	38	100	173	214	231	203
C5 & C6	186	126	223	9	10	17	10
C7 & C8	212	44	279	31	21	21	10
C9 & C10	51	6	49	31	33	8	37
Terpenoids	-	-	-	59	59	120	65
C11 & C12	-	-	-	63	75	162	113
>C12	-	-	-	48	66	22	37
Other	30	17	12	115	64	47	14
Total	860	290	810	660	700	850	620

Compound	House R1				House R2			
	BPM37 Dining	BPM38 M BR	BPM39 U Hall	BPM40 Basement	BPM44 Living	BPM45 M BR	BPM46 2nd BR	BPM66 Outdoor
C3 & C4	22	-	31	-	152	140	117	
Cl & F	33	-	-	-	204	132	259	
Ethanol	-	38	38	12	423	330	162	
Acetone	147	177	153	146	31	9	51	
Other Ox.	232	-	298	167				
Aromatic	317	493	438	-				
C5 & C6	109	86	-	91				
C7 & C8	-	-	-	13				
C9 & C10	81	-	27	29			49	
Terpenoids	281	391	295	-			12	
C11 & C12	73	46	-	-				
>C12	86	86	-	-				
Other	160	252	360	1532				40
Total	1541	1569	1640	1990	810	620	650	40

**Tables 3 (continued) Volatile Organic Compounds Detected in Houses III to VI**  
(Concentration in mg/m<sup>3</sup>)

Compounds	House III				House IV		
	BPM09 MBR	BPM10 U Hall	BPM11 Living	BPM12 Basement	BPM21 MBR	BPM22 Office	BPM23 Basement
C3 & C4	6	15	6	-	-	-	26
C1 & F	-	7	-	-	155(33)*	53	23
Ethanol	104	109	129	-	-	-	169
Acetone	39	42	40	-	-	176	113
Other Ox.	55	11	76	14	110(87)	50	-
Aromatic	63	61	86	96	117	112	108
C5 & C6	9	35	21	-	-	49	-
C7 & C8	-	32	-	28	62(33)	195	-
C9 & C10	0	40	40	-	-	-	-
Terpenoids	201	225	214	202	165	41	169
C11 & C12	52	58	42	7	61	208	76
>C12	7	12	34	-	98	110	69
Other	114	13	12	313	322(687)	236	127
Total	650	660	700	660	1090(840)	1230	880

( ) \* 2<sup>nd</sup> Sampling

Compound	House V				House VI				
	BPM52 Outdoor	BPM53 M BR	BPM54 Rec Rm	BPM55 Dining	BPM56 Office	BPM57 M BR	BPM58 Family	BPM59 Kitchen	BPM60 Basement
C3 & C4	64	84	47	60	-	-	-	0	0
C1 & F	-	-	-	-	-	-	-	0	0
Ethanol	-	14	10	19	-	-	-	0	0
Acetone	9	16	56	59	-	-	-	0	0
Other Ox.	-	75	74	85	-	-	-	0	0
Aromatic	18	22	43	29	-	-	-	0	0
C5 & C6	-	-	-	-	11.2	20	-	0	0
C7 & C8	-	-	-	-	-	-	-	0	0
C9 & C10	-	-	-	-	31.6	22	-	31	14
Terpenoids	-	-	-	-	50.3	78	33	49	0
C11 & C12	-	-	-	-	135.3	218	780	337	0
>C12	-	-	-	-	16.5	66	63	0	0
Other	29	109	210	88	65.1	86	64	83	106
Total	120	320	440	340	310	490	940	500	120

# 住宅の室内空気質の測定試験

## — 環境過敏症の居住者のために —

C.Y. Shaw

カナダ国立科学研究院建設研究所 (NRC)

### 概要

室内環境に影響する各種の物理的要因について検討するため、6戸の住宅を対象に環境測定試験を行った（測定結果を基に改善して再測定の予定）。測定項目は、換気回数、空気拡散分布、継続的な二酸化炭素と炭化水素の濃度、気温、湿度、揮発性有機化合物（VOC）濃度、ホルムアルデヒド濃度などである。使用するカーペットとその下地についても、それらから発せられる主な揮発性有機化合物を測定した。なお、比較のため同じ測定を2戸の参考住宅で行った。一つは、明らかに健康上の問題の無い4人家族の住宅（築造15年の注文建築でない住宅）、もう一つは環境に過敏な居住者の注文建築住宅で行われた。

### 1. はじめに

室内環境（健康性）に影響するさまざまな要因について検討するため、6戸の試験用住宅（住宅 No.1～No.6 と称す）と2戸の参考用住宅（住宅 R1、住宅 R2 と称す）の室内空気質を測定した。その結果、住宅 No.1～No.6 の全てにおいて、居住者の中で少なくとも一人の健康状態の悪化、あるいはその症状の原因のいずれかが確認された<sup>1)</sup>。生物学的汚染物質のサンプル採取も他の研究組織によって別途行われた（測定方法については省略する）。

住宅 R1 は、健康上の問題の無い4人家族の標準的な2階建て住宅（地下室有り）で、一般的な強制温風暖房装置（熱交換換気システムなし）を備えている。なお、住宅 R1 は気密性能について、以前にカナダ全土の住宅（195戸）を対象に測定されたものの1つである。その測定結果によると、同年代に建てられたほとんどの住宅（注文建築ではない）と同程度の気密性能であることが示されている<sup>2)</sup>。また、住宅 R1 の室内空気質はカナダの住宅の中でも良好であると報告されている。住宅 R2 は低い揮発性建材の使用と室内空気汚染を最小限に押さえる換気装置の両方を備えた家具付きの注文建築住宅である。この住宅は、喘息や環境過敏症に苦しむ家族に適した室内環境を有している。住宅 R2 は、現在の建築技術、調達可能な建築資材および家具を使用して、いかに室内の VOC レベルを低減できるか実証した良い例である。表1に、測定住宅について簡単に説明する。

### 2. 測定方法

気体拡散追跡技術<sup>3)</sup>により建物内の給排気と換気回数を測定し、それぞれの住宅の暖房と換気の性能を評価した。居住空間の温度と相対湿度、および化学汚染物質も測定した。測定した化学物質は、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、ホルムアルデヒド（HCHO）、揮発性有機化合物（VOC）などである。



二酸化炭素濃度は、数カ所で継続的に赤外線二酸化炭素分析器を使い観測した。ホルムアルデヒド濃度の測定には、電気揮発センサーつき携帯分析器を使用した。また、揮発性有機化合物測定のために、住宅の空気をサンプルとしてガラス玉、テナックス (Tenax)、合成木炭が詰められた 3 層の収着管に集めた。サンプルされた気体の 4%は揮発性有機化合物の総量測定のため炎電離探知機で使われ、残りのサンプルは GC/MC 分析のため GC コラムを通してパイプで送られる<sup>4)</sup>。なお、基準 シクロヘキサン (Cyclohexane) が FID と MS 探知機の両方の校正に使われた。揮発性有機化合物のサンプル採取は室内換気試験と同時に行われたので、採取時の換気回数も測定されている。さらに、可能な限り、家の中のカーペットやその下地材、その他の揮発性有機化合物の発生源として疑わしい建材を採取し、黒いポリエチレンの袋で包み研究所に持ち帰り、ASTM D5116-90 で指定された方法で主分析を行った<sup>5)</sup>。

表 1 測定住宅

住宅	測定日	形態	築年数	Ft <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	地下室	車庫	暖房	HRV	特記
1	04/93	2階建	50	1400(130)	半地下	無し	電気	無し	地下室床は地盤
2	04/93	2階建	2	3000(280)	地下	2台	電気	有り	エアダクト非接続
3	05/93	2階建タウンハウス	3	1100(100)	床下	無し	ガス	無し	床下の出水
4	06/93	平屋ガレージ	2	3700(345)	地下	2台	電気 木炭	無し	地下の出水 ゴルフコースに隣接
5	12/93	平屋バンガロー	20	1200(110)	地下	1台	ガス	有り	湿気問題
6	03/94	段差型スプリット	25	3000 (280)	地下	2台	温水	無し	
R1	09/93	2階建	14	1900(175)	地下	2台	ガス	無し	
R2	10/93	平屋バンガロー	8	1800(165)	無し	無し	電気	有り	

### 3. 結果および考察

表 2~6 に測定結果を示す。測定住宅の室温は 19℃~29℃で、カナダ住宅の一般的なものである。室内換気率は住宅 R1 の値とほぼ同じか、あるいはそれ以上である。

二酸化炭素濃度は、住宅 R1 で測定された値とほぼ等しい。ホルムアルデヒド濃度は the Health Canada Exposure Guideline の範囲以内の 0.01ppm ~0.1ppm である<sup>6)</sup>。相対湿度は、住宅 No.1 と No.4 はそれぞれ最高 73%, 62%であるが、他 4 戸の住宅は 20%~50%である。

住宅 No.4 と No.6 を除いて、換気された空気は室内空気と十分に混合された。住宅 No.4 の室内空気は、室内プールとの間を自由に流れた。住宅とオフィス、そしてスイミングプールとオフィスの間にはわずか、または全く空気の流動が無い。オフィスは施主の夫人が長時間使う場所であることに注意を要する。また、住宅 No.6 では、ボイラー室からリビングへいくらか空気の流動がある。さらに、ガレージから居室への著しい空気流動が測定された。

住宅 No.1, 2, 5 における生物学的汚染の測定結果は、米国工業衛生士協会(American Industrial Hygienists Association)の推奨する標準限界を越えていた。その他の住宅は、住宅 No.6 がボーダーラインであったことを除いて標準限界以内であった。

特に、*P. brevicompactum* と毒性遺伝子を持つカビ (Toxigenic mold) が、住宅 No.1 (地下室)、No.2,



No.3 (床下), No.5, No.6で確認された。*P. aurantiogriseum* とトリコデルマ (*trichoderma viride*) が住宅 No.2 と No.4 の両方で、また *P. frequentans* が住宅 No.4 において検知された。住宅 No.5 では *Stachybotrys chartarum* と *P. felltanum* が、住宅 No.6 では *Paecilomyces varioti* が認められた。2 戸の参考用住宅では、グリオクラディウム菌 (*gliocladium*, 青カビ (*penicillium*) と関連が有り、普通は植物や塩泥/土壌で見られる) が住宅 R1 で、*Phylloplane* が住宅 R2 で検知された。

表 2 測定状態と結果

住宅 No.	外気温度 [°C]	室内気温 [°C]	相対湿度 [%]	風速 [km/h]	換気率 [ach]	混合時間 [min]	ダイオキシシン [ppm]	二酸化炭素 [ppm]
1	9.9-1.7	19-25	40-73	20-24	0.52-0.72	60	0.01-0.02	460-1350
2	5.0-6.0	21-23	32-40	22-45	0.34-0.37	30	0.04-0.05	340-600
3	18-25	20-27	40-50	9-28	0.38-0.65	45	0.04-0.07	375-600
4	-0.6-5.2	20-29	50-62	6-13	0.12-0.31	55	0.04-0.10	350-670
5	3-6	21-25	33-41	15-18	0.52-0.54	45	0.01-0.01	470-910
6	-0.6-5.2	20-25	20-29	6-13	0.73-0.81	-	0.02-0.05	360-1150
R1	22-24	23-25	45-58	6-9	0.14-0.15	60	0.06-0.09	500-2500
R2	7-15	21-22	35-50	4-41	0.52-0.67	30	0.01-0.01	140-1700

揮発性有機化合物 (TVOC) のレベルは住宅基準の範囲内であり<sup>4)</sup>、全ての住宅が  $0.8\text{mg/m}^3$  より低い濃度である。これらの住宅の中に存在していたいくつかの揮発性有機化合物は、住宅 R2 では発見されていない。測定された揮発性有機化合物は、カルシウム (Cl) と鉄 (F) の化合物、芳香族 (aromatic)、酸化合物 (ベンゼン、トルエン、キシレン)、プロパンを含む炭化水素、テルペノイド (terpenoids) である。住宅 R1 では、これらの全ての化合物が発見されたことに注意すべきである。6 戸の住宅の室内空気質は、いずれも住宅 R1 と等しいか、それより良い結果である。6 戸の室内空気質 (住宅の生物学的汚染を除く) は、住宅 R1 のような典型的なカナダ住宅とほぼ同等であると思われる。特別に、環境過敏症の人のために設計・施工された住宅 R2 は、最高の室内空気質となった。ただし、この結果の一般性について検証するには、より多くの住宅について同様の調査を行う必要がある。

6 戸の住宅それぞれについて指摘された問題点を以下に示す。

- 住宅 1: メインの浴室床の全面カーペット敷き; 地下室の床 (地盤)
- 住宅 2: 熱交換システム (HRV と表記) の給気用エアダクトの一部欠損; HRV にプラスチックダクト使用; 地下室天井上の床根太の空間に配管された給気用主ダクトの開いた穴; 露出した断熱材; 地下室に Carbamate 殺虫剤の残留物の可能性有り
- 住宅 3: 出水と空気の流入による床下内の目に見える湿気
- 住宅 4: 出水の問題; 室内スイミングプールと住居スペースの間の空気流動; 隣接するゴルフコースから肥料と雑草をコントロールするための化学物質の流入の可能性有り
- 住宅 5: 深刻な湿気の問題

- 住宅 6：空気循環システム無し；気密性が悪く自動車の排気ガス流入の可能性有り；ボイラー室からリビングへの空気流入の可能性有り；カビ発生

測定結果は、これらの住宅を改築する際に改善策として使われた。6 戸の住宅の内、5 戸は改築中あるいは完了しており、引き続きテストが行われている。

表 3 住宅 No.1, 2 で検知された揮発性有機化合物 (mg/m<sup>3</sup>)

化合物	住宅 No.1				住宅 No.2		
	BPM02 居 間	BPM04 寝 室	BPM03 地下室	BPM05 洋 室	BMP06 オフィス	BMP07 地下室	BMP08 主寝室
C3, C4	44	11	68	15	48	70	32
カルシウム, 鉄	181	6	22	10	10	12	-
エタノール	16	12	16	22	25	30	28
アセトン	47	30	39	68	68	69	59
他の酸	-	-	-	16	11	41	12
芳香族	93	38	100	173	214	231	203
C5, C6	186	126	223	9	10	17	10
C7, C8	212	44	279	31	21	21	10
C9, C10	51	6	49	31	33	8	37
Terpenoids	-	-	-	59	59	120	65
C11, C12				63	75	162	113
C12超	-	-	-	48	66	22	37
その他	30	17	12	115	64	47	14
合計	860	290	810	660	700	850	620

表 4 住宅 No.3, 4 で検知された揮発性有機化合物 (mg/m<sup>3</sup>)

化合物	住宅 No.3				住宅 No.4		
	BPM09 主寝室	BPM10 ホール	BPM11 リビング	BPM12 地下室	BMP21 主寝室	BMP22 オフィス	BMP23 地下室
C3, C4	6	15	6	-	-	-	26
カルシウム, 鉄	-	7	-	-	155 (33)	53	23
エタノール	104	109	129	-	-	-	169
アセトン	39	42	40	-	-	176	113
他の酸	55	11	76	14	110 (87)	50	-
芳香族	63	61	86	96	117	112	108
C5, C6	9	35	21	-	-	49	-
C7, C8	-	32	-	28	62 (23)	195	-
C9, C10	0	40	40	-	-	-	-
Terpenoids	201	225	214	202	165	41	169
C11, C12	52	58	42	7	61	208	76
C12超	7	12	34	-	98	110	69
その他	114	13	12	313	322 (687)	236	127
合計	650	660	700	660	1090 (840)	1230	880

表5 住宅 No.3, 4 で検知された揮発性有機化合物 (mg/m<sup>3</sup>)

化合物	住宅 No.5				住宅 No.6				
	BPM52	BPM53	BPM54	BPM55	BMP56	BMP57	BMP58	BMP59	BMP60
	屋外	主寝室	レクリエーション	ダイニング	オフィス	主寝室	リビング	キッチン	地下室
C3, C4	64	84	47	60	-	-	-	0	0
カルシウム, 鉄	-	-	-	-	-	-	-	0	0
エタノール	-	14	10	19	-	-	-	0	0
アセトン	9	16	56	59	-	-	-	0	0
他の酸	-	75	74	85	-	-	-	0	0
芳香族	18	22	43	29	-	-	-	0	0
C5, C6	-	-	-	-	11.2	20	-	0	0
C7, C8	-	-	-	-	-	-	-	0	0
C9, C10	-	-	-	-	31.6	22	-	31	14
Terpenoids	-	-	-	-	50.3	78	33	49	0
C11, C12	-	-	-	-	135.3	218	780	337	0
C12超	-	-	-	-	16.5	66	63	0	0
その他	29	109	210	88	65.1	86	64	83	106
合計	120	320	440	340	310	490	940	500	120

表6 住宅 R1, R2 で検知された揮発性有機化合物 (mg/m<sup>3</sup>)

化合物	ハウス R1				ハウス R2			
	BPM37	BPM38	BPM39	BPM44	BMP44	BMP45	BMP46	BMP66
	ダイニング	主寝室	ホール	地下室	居間	主寝室	寝室	屋外
C3, C4	22	-	31	-	152	140	117	
カルシウム, 鉄	33	-	-	-	204	132	259	
エタノール	-	38	38	12	423	330	162	
アセトン	147	177	153	146	31	9	51	
他の酸	232	-	298	167				
芳香族	317	493	438	-				
C5, C6	109	86	-	91				
C7, C8	-	-	-	13				
C9, C10	81	-	27	29			49	
Terpenoids	281	391	295	-			12	
C11, C12	73	46	-	-				
C12超	86	86	-	-				
その他	160	252	360	1532				40
合計	1541	1569	1640	1990	810	620	650	40

## 謝 辞

本研究は、建設研究学会 (Institute for Research in Construction) , 国立科学研究院 (National Research Council) , カナダ住宅ローン公社 (Canada Mortgage and Housing Corporation) の資金補助によるものである。測定解析に当たり、ジェームス・リアーデン氏 (Dr. James Reardon) とジピング・ザウ氏 (Dr. Jiping Zhu) の協力を得た。また、揮発性有機化合物の分析ではイワ・ルージテク氏 (Ms. Ewa Luszyk) に協力頂いた。

## 参考文献

- 1) Salares, V. and Russell, P. 1996. Diagnosing and Mitigating Indoor Air Quality Problems in Canadian Houses, Proceedings, Indoor Air '96, Vol. 4, pp.313-318, Japan
- 2) Haysom, J.C., Reardon, J.T. and Monsour, R., 1990 Survey of Air-tightness of New, Merchant Builder Houses, Proceedings, Indoor Air '90, Vol. 4, pp.263-268, Toronto, Canada.
- 3) Shaw, C.Y. 1993. Application of Tracer Gas Techniques to Ventilation and Indoor Air Quality Investigations. Indoor Environ. Vol. 2, pp.374-382.
- 4) Tsuchiya Y. and Kanabus-Kaminska, J.M. 1992. Volatile organic compounds in Canadian Indoor Air', Conference Proceedings, Indoor Air Quality, Ventilation and Energy
- 5) Conservation: 5th International Jacques Cartier Conference, pp. 131-138, Montreal, Quebec, Canada. ASTM D5116-90 (1990). Standard guide for small-scale environmental chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products, ASTM.
- 6) Health Canada. 1987. Exposure guidelines for residential indoor air quality, Health Canada.

# POLLUTANT EMISSION SOURCES IN NEW HOUSING

R. Dumont<sup>1</sup>, P. Piersol<sup>2</sup>, D. Gerbasi<sup>3</sup>, D. H. Hill<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>Saskatchewan Research Council, CAN, <sup>2</sup>ORTECH International, CAN, <sup>3</sup>SIRICON, CAN

<sup>4</sup>Canada Mortgage and Housing Corporation, CAN

## ABSTRACT

Two research projects were undertaken to examine the relationships between indoor air quality, building material pollutant emissions, occupant-related emissions and other factors associated with high and low-rise dwellings in Canada. The studies characterized indoor air quality, ventilation system performance, occupant-related activities and the pollutant emissions of major building materials and finishes during pre- and post-occupancy periods in 6 new houses and 3 new apartments. The studies allowed for an evaluation of how indoor air quality changes over the first months of occupancy of new dwellings, how the emission of TVOCs and formaldehyde from new construction materials vary over time and how the overall magnitude of emissions from building materials compare with the emissions associated with the occupants. The results of the studies tend to support that occupant-related emissions of pollutants begin to dominate some time after the first few months of occupancy. This can undermine the benefits of selecting low pollutant emission construction and finishing materials. Indoor TVOC and formaldehyde concentrations were found to be more influenced by material emission source strengths than by mechanical ventilation rates. Therefore source control would be a more effective strategy for improving the quality of indoor air.

## INTRODUCTION

Indoor air quality in new dwellings is influenced by the choice of construction and finishing materials, the number of occupants and their activities, furnishings and the quality and quantity of ventilation air. Research has been directed at evaluating indoor air quality, analysing material pollutant emissions, assessing the performance of ventilation strategies within the context of residential construction (1)(2)(3). However, there has only been limited attempts to directly associate material pollutant emissions with actual indoor concentrations of pollutants in newly constructed housing under actual living conditions. This has limited the ability to understand how material emissions change over time, how material emissions influence indoor air quality over time and the relative importance of occupant-related sources of pollutants.

The absence of information on installed material emissions and the relative importance of occupant-related pollutant sources is problematic in that it makes it difficult to evaluate the impact of any efforts to reduce the pollutant emissions from construction materials and finishes on the quality of indoor air after a dwelling has been occupied. Similarly, the role of ventilation as a indoor air quality measure is difficult to assess based on construction-related pollutant emission criteria alone.



In order to increase the level of understanding of the emission of pollutants in residential buildings, Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) and Natural Resources Canada (NRCan) commissioned two field studies (4)(5) to evaluate material emissions and indoor air quality in 6 single family houses and 3 suites within an apartment building. The two studies had very similar objectives:

1. To determine the relative contribution of occupant-related and construction-related pollutant emissions to overall resultant pollutant levels detected within the indoor air of dwelling units.
2. To assess how the pollutant emissions from common construction and finishing materials can change over time under actual conditions.
3. To assess the relationships between ventilation and source control and resultant indoor air quality.
4. To evaluate the quality of indoor air within dwelling units before and after occupancy.

### **METHODOLOGY:**

The two projects involved the characterization of relevant dwelling characteristics, selection and deployment of construction and finishing material samples, indoor air quality monitoring indicators and the coincidental laboratory chamber testing of the pollutant emission characteristics of the selected materials and finishes. Six houses and three apartments were monitored during three periods: immediately upon the completion of construction but prior to occupancy, one month after occupancy and five to six months after occupancy. The indoor air quality data and the emissions testing data were interpreted to assess the contribution of the pollutants emitted by the selected materials to the overall level of pollutants detected in the indoor air. The contribution of other sources (materials not tested and occupant-related) were then inferred. A full description of the methodology followed for each project is given in the project reports (4)(5).

### **RESULTS:**

The two research project generated a significant amount of information on the material emission characteristics of common construction materials under actual conditions, coincidental indoor air quality monitoring, and measurements of total, mechanical and natural air change rate measurements in new dwellings.

Figures 1 and 2 depict the relative pollutant emission source strengths of the materials tested versus the emissions from other sources. The total emission source strength shown is based on the indoor air TVOC monitoring for each test period. For the test houses, TVOC emissions from the tested materials tended to increase from the pre-occupancy period to the first post-occupancy period and then decreased to below pre-occupancy levels for the 6-8 month post-occupancy period. TVOC concentrations were found to exceed those reported in an earlier study of Canadian houses (6). For the apartments, TVOC emissions from the tested building materials followed the same general trend. TVOC concentrations in the apartments concur with those reported in a study of Japanese apartments (7). The test houses experienced much higher total apparent TVOC emissions than the apartments. For the houses, there was a definite tendency for the "other" (i.e.; occupant-related and other materials not tested) pollutant sources to dominate in



the second post-occupancy period. For the apartments, the "other" sources were also important contributors to indoor pollutant levels during the same period.

Figure 1: TVOC Sources in Test Houses Over Time

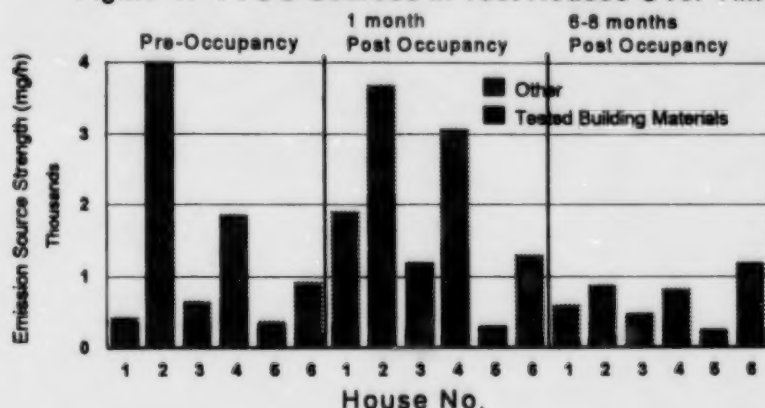


Figure 2: TVOC Emission Sources in Apartments over time

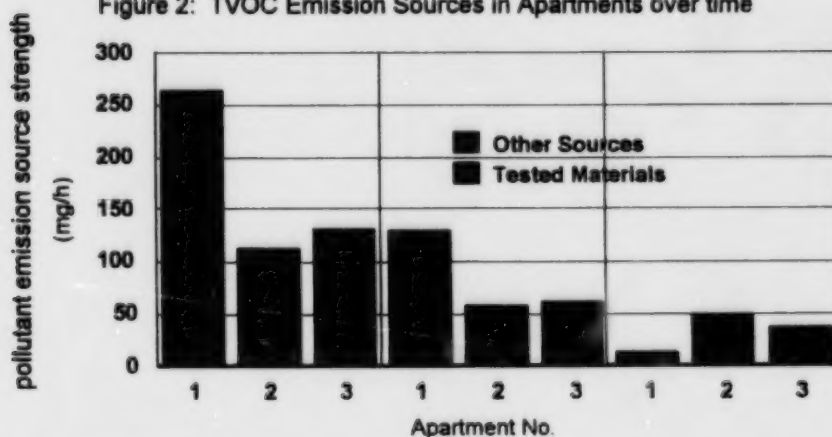
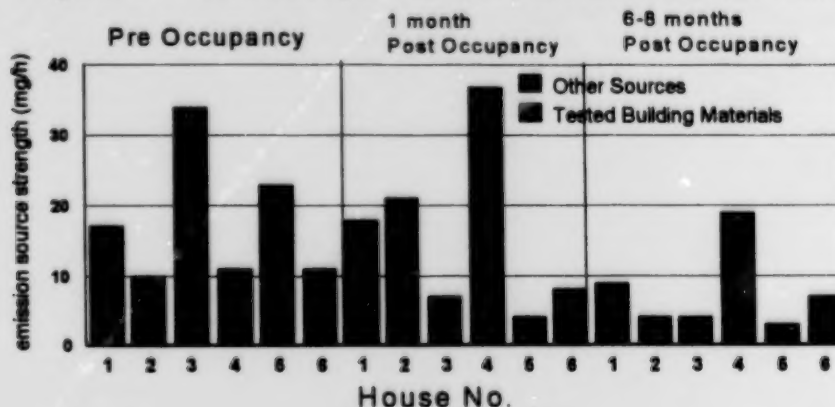


Figure 3 clearly shows that the materials tested were responsible for the formaldehyde levels detected in the test houses during each monitoring period. Total formaldehyde source strengths were found to decrease over the three test periods but the formaldehyde from the materials tested continued to emit over time. Figure 4 demonstrates that "other" sources of formaldehyde make a significant contribution to total formaldehyde concentrations, particularly in the first month post-occupancy period. In two of the three apartments, there is a slight decrease in source strengths over time. Again, it is noted that the test houses experienced significantly higher formaldehyde source strengths than the apartments during all test periods.

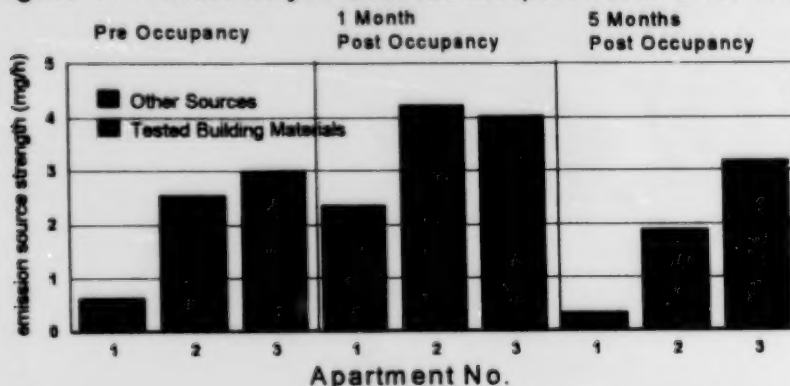
Table 1 shows the range of TVOC concentrations varying from an average of 5.54 mg/m<sup>3</sup> pre-occupancy through to 3.17 mg/m<sup>3</sup> during the second post-occupancy period. On average, formaldehyde concentrations exceeded the target value of .06 mg/m<sup>3</sup> (8) during the

pre-occupancy period but dropped to within the target level during the second post-occupancy period.

**Figure 3: Formaldehyde Sources in Houses Over Time**



**Figure 4: Formaldehyde Sources in Apartments Over Time**



For the apartments, TVOC concentrations exceeded the aforementioned comfort limits for all test periods but were significantly less than the concentrations experienced in the test houses. Formaldehyde concentrations exceeded target values for only one of the apartments during the pre- and immediately post-occupancy periods. Indoor concentrations of formaldehyde and TVOC did not appear to show any dependency upon the quantity of mechanical ventilation within any of the dwellings.

The most significant sources of VOCs in the houses at the pre-occupancy period were carpet, painted trim and painted drywall. During the first month post-occupancy, the major construction-related pollutants were painted drywall, carpet and vinyl flooring. The most significant sources of formaldehyde at pre occupancy were cabinet board, painted drywall and oriented strand board. Vinyl flooring became a major contributor of formaldehyde during the first post-occupancy period. Cabinet board, painted trim and carpets became the major sources during the second post-occupancy period.

**Table 1: Indoor Air TVOC and Formaldehyde Concentrations (mg/m<sup>3</sup>)**

	Pre-Occupancy		1st Post-Occupancy		2nd Post-Occupancy	
	TVOC	HCHO	TVOC	HCHO	TVOC	HCHO
House 1	0.880	0.035	6.360	0.051	2.000	0.029
House 2	17.100	0.038	9.080	0.047	4.450	0.024
House 3	5.730	0.116	6.780	0.040	3.870	0.031
House 4	4.190	0.025	7.300	0.092	1.470	0.033
House 5	2.360	0.144	2.690	0.050	4.050	0.046
House 6	2.960	0.037	5.050	0.033	3.180	0.020
Ave. House	5.540	0.066	6.210	0.052	3.170	0.031
Apartment 1	5.390	0.013	2.670	0.048	0.520	0.012
Apartment 2	0.690	0.016	0.330	0.024	0.320	0.012
Apartment 3	3.370	0.077	1.110	0.072	0.410	0.036
Ave. Apt.	3.150	0.035	1.370	0.048	0.420	0.020

For the apartments, the carpet was a major source of VOCs during all three test periods. Vinyl flooring was a significant contributor of VOCs during the pre-occupancy period and post-occupancy periods. VOC emissions from painted gypsum board peaked during the first post occupancy period. Emissions of formaldehyde from painted gypsum board were high and dominated other tested sources during all test periods. MDF moldings tested in one apartment were significant contributors of formaldehyde. Carpet was found to be a consistent source during all three test periods. Emissions from cabinet board were notable during all test periods but were not as significant as the gypsum board or carpet.

## **DISCUSSION:**

Interpretation of the results of the monitoring and material emission testing programs are made in recognition of it being impossible to quantify the pollutant emissions from all construction-related materials and finishes. Therefore, the emissions attributable to occupant-related activities, furnishings, decorating, etc. can only be, at best, inferred from the difference between monitored pollutant levels and the pollutant generated by the materials and finishes tested. Furthermore, it is difficult to interpret the impact of emission, absorption and re-emission of pollutants into the indoor air from both tested and untested materials on the results of the investigation. Research and experience has shown that construction-related sources are major sources of indoor air pollutants. The two field investigations show that the influence of occupant-related pollutant sources increases over time and can be as significant as construction-related sources. The results tend to suggest that efforts to reduce construction material and finishing pollutant emissions will only have an impact in the initial months after the completion of the units. Afterwards, occupant-related pollutant sources can begin to dominate although at reduced levels. Any efforts undertaken to improve the indoor air quality within dwellings must therefore concentrate on both construction and occupant-related sources in order to be successful. Mechanical ventilation is no doubt beneficial to indoor air quality, but in the quantities currently provided in Canadian housing, it is not an effective pollutant emission control strategy. Dwellings with higher ventilation rates did not necessarily have lower VOC levels. VOC emission rates were the primary factor in determining indoor VOC concentrations - not ventilation. Pollutant source control and occupant

education would be more effective and efficient means of reducing indoor pollutant levels. Materials and finishes that have high pollutant emissions were found to have a large impact on indoor air quality even though they are used sparingly (e.g.; oil based paint on trim). Conversely, materials and finishes with low pollutant emissions can have a significant impact on indoor air quality if used in sufficient quantity (e.g.; low emission paint on gypsum board).

#### **ACKNOWLEDGEMENTS:**

This project was made possible by the expertise of the technical personnel from ORTECH Corporation, the Saskatchewan Research Council, SIRICON and Buchan, Lawton, Parent Ltd. Technical and financial support were provided by Canada Mortgage and Housing Corporation and Natural Resources Canada.

#### **REFERENCES:**

1. Niren L. Nagada, Michael D. Koontz, Patrick W. Kennedy, 1994. Small-Chamber and Research-House Testing of Tile Adhesive Emissions. *Indoor Air*, 1995, 5: 189-195.
2. Andrew B. Lindstrom, David Proffitt, Christopher R. Fortune, 1994. Effects of Modified Residential Construction on Indoor Air Quality. *Indoor Air*, 1995, 5: 258-269.
3. Derrick R. Crump, Richard W. Squire, Chuck W.F. Yu, 1997. Sources and Concentrations of Formaldehyde and Other Volatile Organic Compounds in the Indoor Air of Four Newly Built Unoccupied Test Houses. *Indoor Built Environment* 1997; 6:45-55.
4. SIRICON, 1998. Evaluation of Pollutant Source Strengths and Control Strategies in an Innovative High-Rise Residential Building. Part IX Research Report for Canada Mortgage and Housing Corporation.
5. ORTECH International, 1997. Evaluation of Pollutant Source Strengths and Control Strategies in Conventional and R-2000 Houses. Part IX Research Report for Canada Mortgage and Housing Corporation and Natural Resources Canada..
6. Saskatchewan Research Council, 1992. Volatile Organic Compound Survey and Summarization of Results. Part IX Research Report for Canada Mortgage and Housing Corporation.
7. Koichi Ikeda, Hiroshi Kimura et al. 1997. VOC Measurements in Japanese Apartment Houses. 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop Proceedings. pp IV-7 - IV-12.
8. Health and Welfare Canada, 1987 (r. 1989). Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality.

# 新築住宅における汚染物質の排出源

R. Dumont<sup>1</sup>, P. Piersol<sup>2</sup>, D. Gerbasi<sup>3</sup> and D. H. Hill<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Saskatchewan Research Council, CAN, <sup>2</sup>ORTECH International, CAN

<sup>3</sup>SIRICON, CAN, <sup>4</sup>Canada Mortgage and Housing Corporation, CAN

## 抄 録

室内空気質と建築材料の汚染物質排出、居住者に起因する排出、およびカナダの高・低層住居に関連する他の要因との関係を調べるため、2つの研究プロジェクトが実施された。調査内容は、新築一戸建て住宅6軒と新築アパート3室にて、入居前後の期間における室内空気質、換気システム性能、居住者の活動、および主要建築材料・仕上材から発生する汚染物質の特性の確認であった。さらに、新築住居への入居後数ヶ月間に室内空気質がどのように変化するか、新建築資材から発生するTVOC（総揮発性有機物質）やホルムアルデヒド排出が経時的にどのように変化するか、そして建築材料の排出量を居住者起因排出量と比較して全体にどのような影響をもたらすかを評価した。調査結果は、居住者に起因する汚染物質が入居数ヶ月後に優勢になることを裏付ける傾向があることを示した。これは、汚染物質排出の少ない建築資材・仕上材を選択する利点を揺るがしかねない。TVOCやホルムアルデヒドの室内濃度は、機械換気効率よりも、汚染物質排出源による影響の方が大きいことがわかった。したがって、室内空気質を改善するには、排出源の制御が効果的な方策であると言える。

## 1. はじめに

新築住居の室内空気質は、建築資材や仕上材の選択、居住者の数やその活動、家具・設備類、および換気の質・量による影響を受ける。これまで行われてきた住宅建築関連の研究は、もっぱら室内空気質の評価、建材の汚染物質排出分析、換気システムの性能評価に向けられてきた<sup>1)~3)</sup>。しかし、実生活環境の下で新築住宅の建材の汚染物質排出と実際の汚染物質の室内濃度を直接結び付けるような試みは、これまでごく限られたものでしかなかった。そのため、建材の汚染物質排出の経時変化や室内空気質への経時的影響、汚染物質の居住者起因排出源の相対的重要性への理解が限定されている。

取付け建材の汚染物質排出や居住者起因の排出源の相対的重要性に関する情報がないため、建築資材・仕上材からの汚染物質の排出削減を試みた場合、それが住宅入居後の室内空気質にもたらす効果を評価することは困難になっている。同様に、建築に起因する汚染物質排出基準のみをベースに室内空気質の改善対策としての換気の役割を評価することも困難である。住宅建築物の汚染物質排出に対する理解を深めるため、カナダモーゲージ住宅社(CMHC)とカナダ天然資源省(NRCan)は



2 件の現地調査を実施し、一戸建て住宅 6 軒とアパート 3 戸で建材からの汚染物質排出と室内空気質を評価した<sup>4)・5)</sup>。この 2 件の調査目的を以下に示す。

1. 住居の室内空气中に検出された汚染物質総量に対する、居住者起因および建築起因による汚染物質排出量の相対的寄与を測定する。
2. 一般的な建築資材・仕上材から発生する汚染物質の実条件下での経時変化を評価する。
3. 換気・排出源制御とその結果による室内空気質との関連性を評価する。
4. 入居前後の住宅の室内空気質を評価する。

## 2. 室内空気質の調査方法

2 つの研究プロジェクトは、住居の特徴を調べ、建築資材・仕上材試料および室内空気質監視メーターの選択・取付けを行い、選択した建材・仕上材の汚染物質排出の特徴を同時発生実験室にて試験するというものであった。6 軒の一戸建て住宅と 3 戸のアパートについて、完成直後の入居前、入居 1 ヶ月後（前期）、入居 5 ～ 6 ヶ月後（後期）の 3 つの期間に分けてモニターした。室内空気質データと排出試験データを用いて、室内空气中に検出された総汚染物質質量に対する当該建材による汚染物質排出量の寄与を判断した。さらに、その他の排出源（試験をしていない建材および居住者起因排出源）の寄与を推測した。プロジェクト報告書には、各プロジェクトで用いられた方法がすべて記述されている<sup>4)・5)</sup>。

## 3. 調査結果

実条件下での一般的な建築資材からの汚染物質排出の特徴、発生室内空気質の監視、さらに新築住宅での機械・自然換気率とその全体量の測定に関して、この 2 つのプロジェクトは多大な情報を提供した。

図 1 と 2 に、試験に使われた建材の汚染物質排出源の排出量とその他排出源からの排出量との対比を示す。排出源からの総排出量については、各テスト期間における室内空气中的 TVOC 監視結果を基にしたものである。試験を行った一戸建て家屋の場合、試験建材の TVOC 排出量は入居前から入居後前期までの間に増加し、その後入居後 6 ～ 8 ヶ月の間に入居前のレベルまで低下する傾向が見られた。TVOC 濃度については、以前に行われたカナダの住宅調査の結果を上回っていることがわかった<sup>6)</sup>。アパートにおいても、試験に使われた建築材料の TVOC 排出量は全体として同様の傾向を示した。また、アパートの TVOC 濃度は、日本のアパートに関する研究結果と一致した<sup>7)</sup>。また、試験家屋の TVOC の総排出量は、アパートと比べて明らかに高い数値を示した。一戸建て家屋については、「その他」の汚染物質排出源（すなわち、居住者起因排出源と試験していない他の建材）が入居後後期に優勢になるという明らかな傾向が見られた。アパートでも、同時期において、この「その他」の汚染物質排出源は、室内汚染物質レベルの重要な決定要因であった。

図 3 を見ると、試験に使用した建材が、各監視期間中に試験家屋で検知されたホルムアルデヒドのレベルに影響を及ぼしていることが明らかである。ホルムアルデヒド排出源からの総排出量は、全試験期間を通じて減少することがわかったが、試験建材からのホルムアルデヒド排出は続いた。



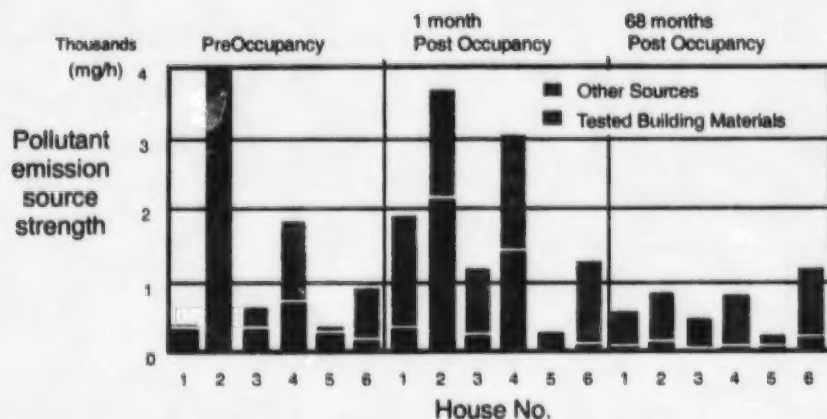


Figure 1: TVOC Sources in Test Houses Over Time

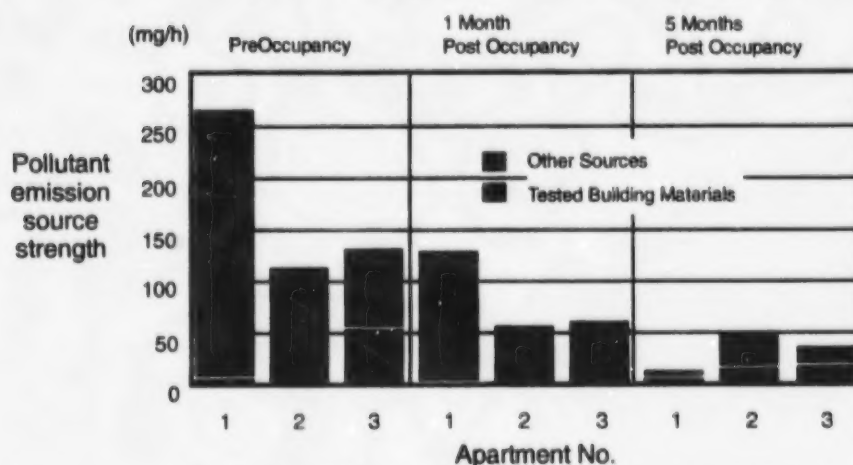


Figure 2: TVOC Emission Sources in Apartments over time

図4は「その他」のホルムアルデヒド排出源が、特に入居1ヶ月後の全体のホルムアルデヒド濃度に大きく寄与していることを示す。アパート3戸の内2戸において、排出源からの排出量には若干の経時的低下が見られた。ここでも、試験家屋のホルムアルデヒド排出源は、すべての試験期間においてアパートよりもかなり高い値を示した。

表1に、TVOC濃度の入居前から入居後後期までの変化を示す ( $5.54 \text{ mg/m}^3 \sim 3.17 \text{ mg/m}^3$  平均値)。入居前のホルムアルデヒド濃度の平均値は、目標値<sup>8)</sup>である  $0.06 \text{ mg/m}^3$  を上回ったが、入居後後期には目標レベルまで減少した。

一方、アパートのTVOC濃度は、全試験期間において前述の快適許容範囲を越えたが、試験家屋よりもかなり低い値を示した。試験を行ったアパートの中で、入居前と入居直後にホルムアルデヒド濃度が目標値を上回ったのは一戸のみであった。すべての試験住居において、ホルムアルデヒドおよびTVOCの室内濃度は、機械換気量によって決定されるのではないようであった。

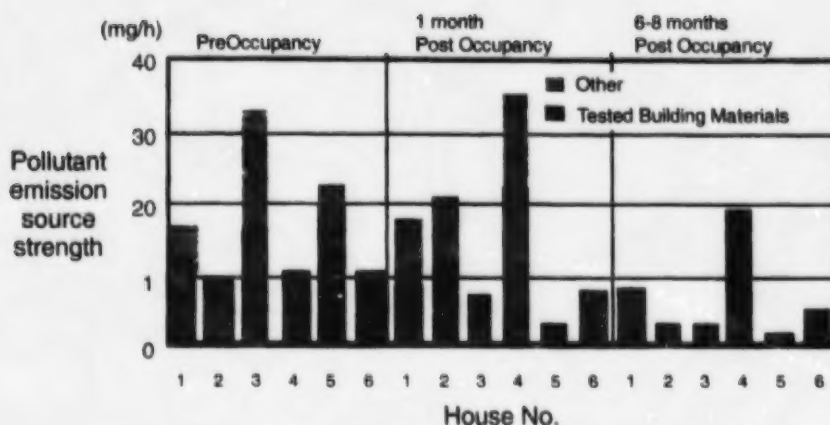


Figure 3: Formaldehyde Sources in Houses Over Time

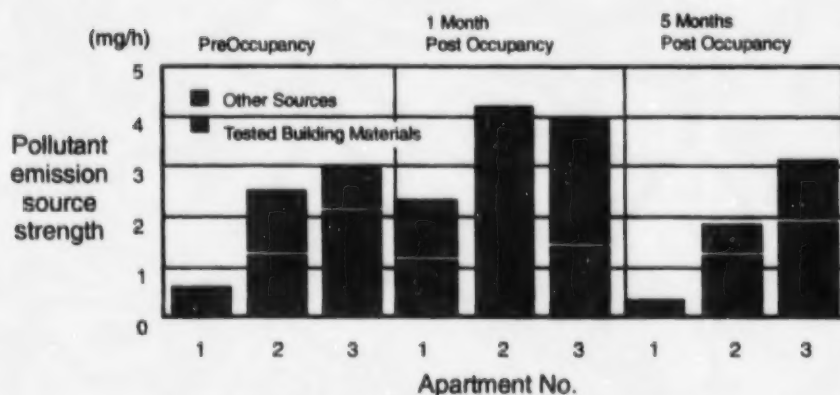


Figure 4: Formaldehyde Sources in Apartments Over Time

表 1 室内空気中の TVOC とホルムアルデヒド濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

建物の種類	入居前		入居後前期 (1ヶ月後)		入居後後期 (5～6ヶ月後)	
	TVOC	HCHO	TVOC	HCHO	TVOC	HCHO
一戸建て住宅 1	0.880	0.035	6.360	0.051	2.000	0.029
一戸建て住宅 2	17.100	0.038	9.080	0.047	4.450	0.024
一戸建て住宅 3	5.730	0.116	6.780	0.040	3.870	0.031
一戸建て住宅 4	4.190	0.025	7.300	0.092	1.470	0.033
一戸建て住宅 5	2.360	0.144	2.690	0.050	4.050	0.046
一戸建て住宅 6	2.960	0.037	5.050	0.033	3.180	0.020
一戸建て平均値	5.540	0.066	6.210	0.052	3.170	0.031
アパート 1	5.390	0.013	2.670	0.048	0.520	0.012
アパート 2	0.690	0.016	0.330	0.024	0.320	0.012
アパート 3	3.370	0.077	1.110	0.072	0.410	0.036
アパート平均値	3.150	0.035	1.370	0.048	0.420	0.020

入居前の家屋では、最大の VOC（揮発性有機物質）排出源は、カーペット、塗装窓額縁、塗装ドライウォールであった。入居後 1 ヶ月間の建築起因の主な汚染物質は、塗装ドライウォール、カーペット、ビニール床材であった。さらに、入居前の最大のホルムアルデヒド排出源は、キャビネット材、塗装ドライウォール、および OSB（オリエンテッド・ストランド・ボード）であった。入居後前期では、ビニール床材が主要なホルムアルデヒド排出源となった。さらに入居後後期については、キャビネット材、塗装窓額縁、カーペットが主要ホルムアルデヒド排出源となった。

アパートにおいて全試験期間を通じて VOC の主要排出源となったのはカーペットであった。ビニール床材は、入居前・入居後共に VOC の排出レベルに大きく寄与した。塗装石膏ボードの VOC 排出量は、入居後前期にピークに達した。塗装石膏ボードのホルムアルデヒド排出量は高く、全試験期間において試験を行った全排出源の大半を占めた。アパートの一戸で試験された MDF（中質繊維板）モールドディングは、ホルムアルデヒド排出量に大きく寄与した。カーペットは、全試験期間を通じて一定した排出量を示した。キャビネット材の排出量は全試験期間において顕著であったが、石膏ボードやカーペットほどではなかった。

#### 4. むすび

すべての建築関連資材や仕上材から排出される汚染物質の定量化は不可能であるという認識に基づき、資材の汚染物質排出監視・試験プログラムの結果分析を行った。したがって、居住者の活動、家具、装飾品などによる排出量は、監視結果の汚染物質レベルと試験に使用した建材・仕上材から排出された汚染物質との差から推察することしかできない。しかも、調査結果に基づいて、試験建材と未試験建材から室内空気中への汚染物質の排出・吸収・再排出を判断することは困難である。これまでの研究や経験から、建築に起因する排出源が室内空気中の汚染物質の主要排出源であることがわかっている。2 件の現地調査によると、居住者に起因する汚染物質排出源の影響力は時間が経つにつれて増加し、建築起因排出源と同じくらい重要になり得ることを示している。調査結果は、建築資材・仕上材の汚染物質排出量の削減努力が、住宅完成直後の数ヶ月間しか効果がないことを示す傾向にある。その後、削減後のレベルではあるものの、汚染物質は居住者に起因するものが主流になり始める。したがって、住居の室内空気質をうまく改善するには、建築および居住者双方に起因する排出源に注目しなければならない。むしろ、機械換気は室内空気質の改善に有効ではあるが、現在カナダの住宅で使用されている数量では、汚染物質の排出を効果的に制御する方策ではないと判断する。換気率の高い住居の VOC 排出量が必ずしも低いわけではない。室内の VOC 濃度を決定する最大の要因は、換気ではなく VOC 排出率であった。室内汚染物質量をさらに効果的かつ効率よく削減するには、汚染物質排出源の制御と居住者の教育が必要であろう。汚染物質の排出量が高い建築資材・仕上材は、たとえ少量であっても（例：窓額縁に使われる油性塗料）、室内空気質に大きな影響を与えることがわかった。逆に、建築資材・仕上材の汚染物質の排出量が低くても、かなりの量が使用される場合（例：石膏ボードに使われる汚染物質低排出塗料）、室内空気質に重大な影響を与えることになる。

## 謝 辞

本プロジェクトは、ORTECH 社、サスカチュワン州研究会議、SIRICON 社、そして Buchan, Lawton, Parent 社の技術者の専門技術がなければ実現できなかったであろう。さらにカナダモーゲージ住宅社とカナダ天然資源省の技術面、財政面での援助に対して謝辞を述べたい。

## 参考文献

1. Niren L. Nagada, Michael D. Koontz, Patrick W. Kennedy, 1994. Small-Chamber and Research-House Testing of Tile Adhesive Emissions. *Indoor Air*, 1995, 5: 189-195.
2. Andrew B. Lindstrom, David Proffitt, Christopher R. Fortune, 1994. Effects of Modified Residential Construction on Indoor Air Quality. *Indoor Air*, 1995, 5: 258-269.
3. Derrick R. Crump, Richard W. Squire, Chuck W.F. Yu, 1997. Sources and Concentrations of Formaldehyde and Other Volatile Organic Compounds in the Indoor Air of Four Newly Built Unoccupied Test Houses. *Indoor Built Environment* 1997; 6:45-55.
4. SIRICON, 1998. Evaluation of Pollutant Source Strengths and Control Strategies in an Innovative High-Rise Residential Building. Part IX Research Report for Canada Mortgage and Housing Corporation.
5. ORTECH International, 1997. Evaluation of Pollutant Source Strengths and Control Strategies in Conventional and R-2000 Houses. Part IX Research Report for Canada Mortgage and Housing Corporation and Natural Resources Canada..
6. Saskatchewan Research Council, 1992. Volatile Organic Compound Survey and Summarization of Results. Part IX Research Report for Canada Mortgage and Housing Corporation.
7. Koichi Ikeda, Hiroshi Kimura et al. 1997. VOC Measurements in Japanese Apartment Houses. 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop Proceedings. pp IV-7 - IV-12.
8. Health and Welfare Canada, 1987 (r. 1989). Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality.





**Session 3／分科会 3**

**Indoor Air Quality &  
Energy Conservation**

室内空気質と省エネルギー

C.Y. Shaw, J. Zeng, J.S. Zhang, J.P. Zhu, J.T. Reardon, and D. M. Sander  
Institute for Research in Construction  
National Research Council Canada

## ABSTRACT

This paper presents a brief overview of a three-year consortium project on material emissions and indoor air quality modelling. It highlights the research plan, deliverables and sample results of this project. It also shows task-by-task how the research plan will lead to the deliverables.

## INTRODUCTION

Provision of acceptable indoor air quality in an energy-efficient manner depends on two factors: contaminant-source control and effective ventilation. Both factors require a thorough understanding of the emission characteristics of building materials and furnishings. The Institute for Research in Construction, National Research Council Canada has carried out a three-year project on material emissions and indoor air quality modelling. A consortium has been established to set the research priorities and help disseminate the results. Consortium members include NRCan, CMHC, Canadian Wood Council, Chemical Manufacturers Association, USG Corporation, Gypsum Association, Building Research Institute of Japan, and Building Centre of Japan. This paper presents an overview of this project and some preliminary results.

## PROJECT OVERVIEW

The main objective of the project is to develop guidelines for selecting building materials and furnishings, and ventilation strategies for new and existing buildings to meet a specific indoor air quality level. To achieve this objective, it is necessary to have models and input data that can be used by designers and building engineers to predict indoor air quality levels. The workplan for this project, therefore, includes three tasks: laboratory testing, modelling, and field validation. A brief discussion of each task is given below.

### Laboratory Testing

Laboratory testing includes both small- and full-size- chamber testing. One of the main tasks of chamber testing is to produce emission data for commonly used building materials and furnishings. The materials which have been tested under this project included six wet materials (wood stains, polyurethane, waxes, paints, adhesives, and caulks and sealant) and eleven dry materials (three types of carpets, underpads, particleboard, plywood, oriented strand board, gypsum board, solid wood, ceiling tiles, and vinyl floorings). Based on the recommendations of local architects and designers, three commonly used products of each of the 17 materials have been tested. In addition, five material systems (carpet-adhesive-substrate, vinyl-adhesive-substrate, plywood-subfloor material-plywood, office workstation, and kitchen cabinets) have also been tested. The results have been included in a database for use with various prediction models, which have been or are being developed under this project.

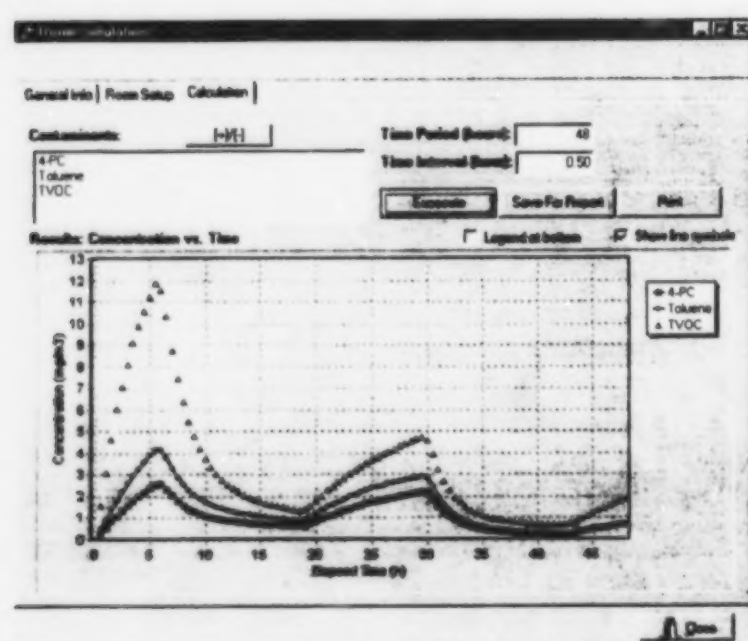


図4 換気時間から VOC 濃度への影響

## 4. まとめ

本論文では物質放散及び室内空気質のモデリングに関する3年間の研究委員会プロジェクトの概要を紹介した。このプロジェクトは1999年9月に完了する予定である。研究計画には、小型チャンバー・大型チャンバーによる実験室実験、モデリング、及び現場実測による検証、という三つの主要なタスクがある。チャンバー実験は本研究で提案しているデータベース作成のために VOC 放散データを蓄積することを目的としている。このタスクでは、より汎用的なデータを提供するため、VOC 放散測定に関する標準的な実験方法・手順も開発している。異なる実験室でもこれらの実験方法・手順に基づいて測定を行えば、実験結果の汎用性があり、本データベースに収録できると考えられる。モデリングに関するタスクでは、室内空気質レベルの予測方法を開発することを目的としている。現場実測による検証を行うタスクは、開発されたモデルの妥当性を証明するものである。主な研究成果を以下に列記する。

- データベース：一般的に使用される 31 種類の建材の VOC 放散特性。その中には、6 種類のウェット型の材料と 11 種類のドライ型の材料があり、その材料毎に 3 種類の製品のデータを含んでいる。
- 2つの小型チャンバーを用いた ASTM 測定方法：ウェットな塗装材、木材をベースとしたパネル
- 大型チャンバー ASTM 標準ガイドライン
- TVOC と個々の VOC 放散量を予測する 2つの物質移動モデル：ウェット型の材料、ドライ型の材料
- シンクモデル：一般的に使用される 4 種類の建材の  $k_a$ 、 $k_e$  の値
- シングルゾーンモデル：データベースに基づいた室内 VOC 濃度の予測

## 参考文献

1. Zhang, J.S., Zhu, J.P., Magee, R.J., Luszyk, E., Yan, A., and Shaw, C.Y. 1999. A database of VOC emissions from building materials. Accepted for presentation at the Indoor Air 1999 August 1999 Edinburgh Scotland
2. Guo Z. And Tichenor B.A. 1992. Fundamental mass transfer models applied to evaluating the emissions of vapor-phase organics from interior architectural coatings. EPA/AWMA Symposium, Durham, NC

## MEASUREMENTS ON VOCs IN JAPANESE RESIDENCES

Koichi IKEDA<sup>1)</sup>, Kazukiyo KUMAGAI<sup>1)</sup>, Masahiro HORI<sup>2)</sup>, Toshiro MATSUMURA<sup>3)</sup>, Atsuo NOZAKI<sup>4)</sup>, Hiroshi KIMURA<sup>5)</sup>, Kazuo IIKURA<sup>6)</sup>

- 1) Department of Architectural Hygiene Engineering and Housing, The Institute of Public Health, JAPAN
- 2) Faculty of Education and Human Sciences, National University of Yokohama, JAPAN
- 3) Division of Environmental Chemistry, National Institute of Health Science, JAPAN
- 4) Department of Architecture, Tohoku Bunka University, JAPAN
- 5) Research Institute, Haseko Corporation, JAPAN
- 6) Department of Mechanical and Environmental Informatics, Tokyo Institute of Technology, JAPAN

## ABSTRACT

Recently highly elevated indoor air contamination by VOCs resulting from improvement in air-tightness of residential building envelope and introduction of new type building materials have become one of the most serious social problems in Japan. Many chamber tests for individual materials are carried out to quantify the emission rates from the building materials, and various measurements are conducted in residences to know actual status of the contamination. But not enough information is available so far. In this study measurements of VOC concentration including formaldehyde in 50 residences are reported. The mean concentration of HCHO and TVOC were 0.0478 ppm and 3640 mg/m<sup>3</sup> and the standard deviation were 0.0415 ppm and 8240 mg/m<sup>3</sup>.

## INTRODUCTION

Improvements in air tightness of residential building envelope for energy efficiency and introduction of new type building materials have become one of the causes of highly elevated indoor air pollutant concentration in Japan. Also the change in construction methods using adhesive emits considerable amount of VOC. As a result, VOC concentrations in residences, which are usually ventilated naturally, have become quite high. There are several health effects reported, such as multiple chemical sensitivity. These indoor air quality problems are known to "sick house syndrome" in Japan. To solve the problems many field measurements and laboratory experiments have been conducted. Unfortunately most of the measurements are conducted in unoccupied residences. In this study measurements of VOC concentration including formaldehyde in 50 residences occupied by residents is reported.

## METHODS

The residences measured were 32 houses built in Tokyo metropolitan area and 18 in Kohriyama City (260 KM north of Tokyo) as shown in table 1. We have divided these residences measured in this study into groups according to the year constructed (new/old), types

Even though substantial efforts have been made to develop the database, much more data are required to make this database useful. Another major task of this project is to develop emission test methods and procedures, so that test results obtained by different laboratories, using these methods and procedures would be compatible and suitable for inclusion in the database. To develop such methods, it is necessary to know the impacts of various factors, such as temperature, boundary airflow conditions, sink effect, etc. on the emission characteristics of building materials. Tests have, therefore, been conducted to assess such effects. At present, two draft ASTM standard practices have been developed for use with small emission test chambers: one for coating materials and another for wood-based panels. In collaboration with USEPA, a draft ASTM practice for testing wet materials is being developed. Also, in collaboration with USEPA and CSIRO, Australia, a draft guideline has been developed for full-scale chambers to determine VOC emissions from indoor materials/products.

### *Modelling*

Several models have been developed under this project, including source, sink, and room simulation models. Source models include empirical models and mass transfer-based models.

**Source models, empirical** – These models involve fitting measured concentrations with an appropriate equation, such as a power-law relationship. The main application of such models is to predict the long-term emission characteristics of a specific sample, using short-term measured data. This strategy is used to shorten the test period, when conducting material emission tests using standard test procedures.

**Source models, mass transfer** – These models involve solving fundamental equations governing the emission process from building materials to the air. Two such models have been developed under this project: one for dry materials and another for wet materials. For dry materials, as the boundary layer effect is negligible, it can be assumed that the VOC concentrations are uniform within the air, including the boundary layer. For simplicity, the emission processes for dry materials were assumed to be governed by the diffusion of a volatile organic compound (VOC) through the source material and the transport of the compound into the surrounding air. The transition between the solid material and the air was accounted for by including a partition coefficient. The partition coefficient is the concentration ratio of the VOC between the material side and the air side of the material-air interface. The governing equation for the emission process is the three-dimensional transient diffusion equation. To solve this equation, in addition to boundary and initial conditions, it is necessary to know the diffusion coefficient for the compound, the partition coefficient, and the initial VOC mass in the material. An experimental method has been developed under this project to measure the diffusion and partition coefficients for various VOCs diffused through common building materials. A head space analysis is conducted to determine the equilibrium concentrations of VOCs at the air-side of the material-air interface. The results and the corresponding partition coefficients are used to estimate the initial VOC mass in the material.

For wet materials, the emission of VOCs from a wet material applied on a porous substrate includes the diffusion of a volatile organic compound through the substrate, the material film, the



material-air interface, and the boundary layer. The governing equations for each region, starting from the substrate, are

- Substrate - one-dimensional transient diffusion equation,
- Material Film- three-dimensional transient diffusion equation,
- Interface - partition coefficient to relate the VOC concentrations between the material side and the air side of the interface, and
- Boundary Layer and above - continuity equation, three-dimensional iso-thermal momentum equations, and mass transport equation for the air.

Both models give the emission rates of TVOC and individual VOCs. They are useful for researchers to understand the emission processes, but are too complicated for general applications. One main application of such models is to generate data for developing simple correlations for predicting emission rates.

**Sink models** – Interior building materials and furnishings can adsorb VOCs from surrounding air and re-emit them into the air later. This is known as sink effect. Sink effect can have significant influence on VOC concentrations in a room and, therefore, it has to be considered in indoor air quality predictions. As several sink models are available, the focus of this project has been to evaluate these models and select the most suitable one for indoor air quality predictions. Based on tests conducted on vinyl floor tile, painted gypsum wallboard, ceiling tile, and carpet, it was found that the Langmuir isotherm based first order reversible adsorption / desorption model (or linear sink model) appears to be suitable for determining the sink effects of building materials, under typical indoor conditions. This model assumes that at a certain temperature, the VOC adsorption rate is proportional to the VOC concentration in the air, and the VOC desorption rate is proportional to the VOC mass adsorbed by the material. It consists of two constants:  $k_a$ , the adsorption rate constant and  $K_e$ , the adsorption/desorption equilibrium constant, both have to be determined by the users. The values of  $k_a$  and  $K_e$  for five VOCs (ethylbenzene, cyclohexanone, 1,4-dichlorobenzene, benzaldehyde, and dodecane) have been determined under this project for the four building materials listed above. In addition, a correlation between  $K_e$  and VOC vapour pressure has been found.

**Room simulation model** – A single-zone model has been developed to predict concentrations of individual VOCs in rooms based on the emission data of building materials and furnishings. It assumes perfect mixing of the contaminants with the indoor air. Input data include loading ratio and emission source areas, emitted contaminants and their emission rate – time profiles, sink characteristics of interior surfaces, room or house dimensions, and air change rate. A database containing emission data for selected building materials has been developed for use with this model.

### *Field Validation*

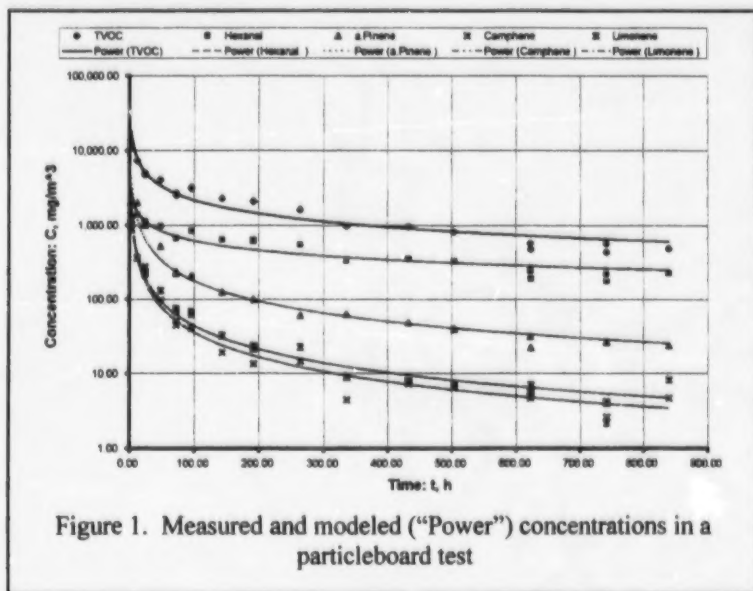
Tests have been conducted in the NRC two-storey research house to obtain data for checking the accuracy of the prediction results of the single zone model. Two VOC sources were used for these tests: a petri dish containing 5 g of Toluene d-8 and a commercial wood stain applied on a 42 cm by 28 cm oak substrate. The commercial wood stain contained four dominant VOCs, i.e.,

Nonane, Decane, Undecane, and Dodecane. The VOC sources were each placed on an electronic balance, so that the weight loss – time profile of each source could be accurately measured. During the test, the forced-air heating system was in operation to assist the mixing of the contaminants emitted from the sources with the indoor air. Air samples were taken at four locations within the house immediately after the start of the test. The sampling intervals varied from four minutes during the first four hours of the test to 60 minutes near the end of the test.

## Sample of Results

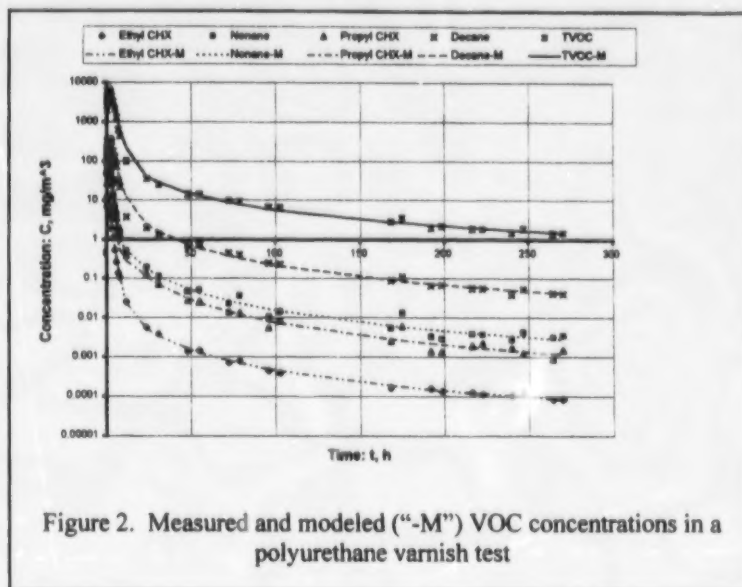
This project has produced many useful results. A sample of these results is described below [1].

Small chamber, dry materials - Fig.1 shows the measured concentrations of TVOC and the four most abundant VOCs emitted from a particleboard sample. The measured data were fitted with a power-law relationship. The goodness of the curve fits illustrates the potential of using curve fitting techniques to predict the long-term emission characteristics of this particleboard, using short-term measured data.



Small chamber, wet materials – The emission process of wet materials exhibits much greater complexity than that of dry materials. Figure 2 shows the emission characteristics of a polyurethane varnish sample, represented by the concentration profiles of TVOC and the four most abundant VOCs in the air of the test chamber. As shown, the concentrations decay rapidly during approximately the first 8 hours after the start of the test. The concentrations continue to decrease but at a slower rate for the next 24 hours or so. After these two periods, the decay of the concentrations continues at a rate similar to that of dry materials shown in Figure 1. Because of the differences in decay rates exhibited in the three stages, three equations have been suggested to fit the decay profile. They are the VB (vapour pressure – boundary layer) model [2] for the initial stage, the first – order exponential function for the second stage, and the power

law relationship for the third stage. Figure 2 shows that the proposed three – equation model agrees well with the measured concentrations.



Full size chamber, a fully furnished office workstation with carpet – Table 1 lists the 45 VOCs identified in the chamber air, that resulted from the emissions from a test workstation. Of the 45 VOCs, the six most abundant compounds were: nonanal, phenol, toluene, i-propanol, pentane, and acetone.

Table 1. VOCs emitted from the office workstation

Aliphatic Hydrocarbons	Butane; Pentane; alpha-Pinene; Decane; Limonene; Branched C11; Undecane; Branched C12; Dodecane; Derivative of neoprene; Hexadecane.
Aromatic hydrocarbons	Benzene; Toluene; Ethylbenzene; o-, m-, p-Xylene; Styrene; Propylbenzene; Trimethylbenzenes; 3-cyclohexen-1-yl-benzene (4-PC).
Aldehydes	Pentanal; Hexanal; Heptanal; Octanal; Nonanal; 2-Nonenal, (E)-; Decanal.
Ketones	Acetone; 2-Butanone; Acetophenone.
Chlorinated Hydrocarbons	Trichloromonofluoromethane; Methylene Chloride; 1,4-dichlorobenzene.
Alcohol	Methanol; Ethanol; I-propanol; 2-butoxy-ethanol; Undecanol.
Others	Carbon disulfide; Acetic Acid; Propanoic acid, 3-ethoxy-, ethyl ester; Phenol; 2,6-t-Butylo, p-chinon; Butylated Hydroxytoluene (BHT).



Full size chamber, sink effect - Figure 3 shows the results of the sink effect test. Each sink test started with the injection of a mixture of five VOCs into the chamber and was followed by the monitoring of the concentrations for a period of 80 hours. The underlying assumption is that in the absence of sink effect, the decay of the concentrations of test gases would follow closely the typical exponential function. To verify this assumption, in addition to the five VOCs, a small amount of  $\text{SF}_6$ , which is not expected to be adsorbed by the test workstation, was also used as a test gas. As expected, the concentrations of  $\text{SF}_6$  agreed closely with the theoretical no-sink curve. On the other hand, except for the dodecane which was not detectable, the decay of the other four VOCs was much slower than the theoretical non-sink curve, suggesting the presence of sink effects.

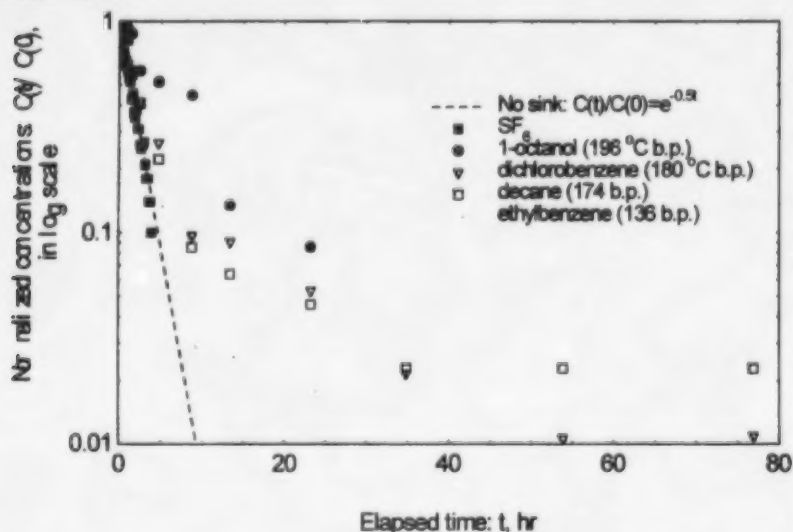


Figure 3, Results of the sink effect test

Figure 3 also shows that the VOC with the highest boiling point appeared to have the slowest decay rate. For the five VOCs used for the sink test, the dodecane has the highest boiling point. One possible reason for its disappearance in the air could be that it was completely absorbed by the workstation and it would take much longer for the workstation to re-emit it. Further work is needed to investigate sink effects and, particularly the relationship between the strength of sink effect and the physical and chemical properties of individual VOCs (e.g., boiling point, polarity, molecular structure, etc.).

Simulation results - Figure 4 shows the results of a typical simulation case. The purpose was to predict the concentrations of VOCs in a room, results from building materials and furnishings associated with a specific operation schedule of the ventilation system. To conduct such a simulation, the user is required to enter the input data which, for this example include the space volume, ventilation rate and schedule, and emission data of the building materials and products from the emission database developed under this project and their quantities. The simulation covered a period of two days during this period the ventilation system was in operation between 6 AM and 7 PM each day. Figure 5 shows that the concentrations of TVOC, 4-PC and toluene

increased during the period when the ventilation system was off. The concentrations decreased immediately after the ventilation was turn on at 6 AM each morning.

## SUMMARY

This paper presents a brief overview of a three-year consortium project on material emissions and indoor air quality modelling, which will be completed in September, 1999. The workplan includes three major tasks: laboratory testing using small and full-size emission testing chambers, modelling, and field validation. The focus of the laboratory testing is to generate emission data for a proposed database. To support this, another focus of this task is to develop emission test methods and procedures. Using these methods and procedures, the test results obtained by different laboratories would be compatible and suitable for inclusion in the database. The purpose of modelling task is to develop methods for predicting the indoor air quality levels in rooms. Finally, the objective of the field validation task is to determine the accuracy of the prediction methods developed under the modelling task. Significant outputs include:

- A database consisting of emission characteristics of 51 commonly used building materials, including three products each from six wet coating materials and eleven dry materials. It also includes five material systems (component assemblies),
- Two draft ASTM standard practices for use with small emission test chambers: one for wet coating materials and another for wood-based panels,
- A draft ASTM standard guide for full-size chambers,
- Two mass-transfer-based models for predicting emission rates of TVOC and individual VOCs: one for dry materials and another for wet materials,
- A suggested sink model and the values of  $k_a$  and  $k_e$  for four commonly used building materials, and
- A single-zone model for use with the database for predicting concentrations of individual VOCs in rooms.

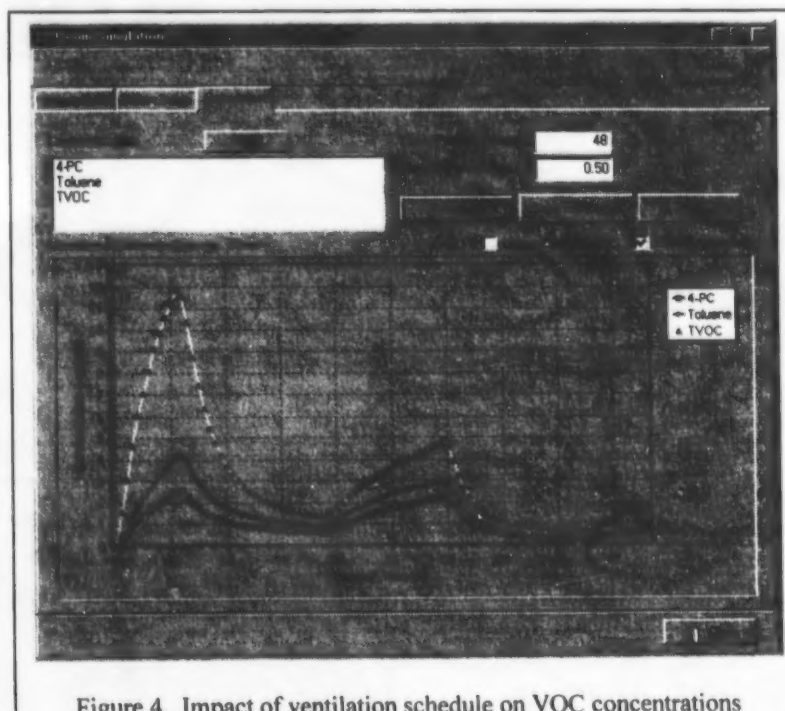


Figure 4. Impact of ventilation schedule on VOC concentrations

## REFERENCES

1. Zhang, J.S, Zhu, J.P., Magee, R.J., Lusztyk, E, Yan, A, and Shaw, C.Y. 1999. A database of VOC emissions from building materials. Accepted for presentation at the Indoor Air '99, August 1999, Edinburgh, Scotland.
2. Guo Z. And Tichenor B.A. 1992. Fundamental mass transfer models applied to evaluating the emissions of vapor-phase organics from interior architectural coatings. EPA/AWMA Symposium, Durham, NC.

# 物質放散と室内空気質モデリングプロジェクト

C.Y. Shaw, J. Zeng, J.S. Zhang, J.P. Zhu, J.T. Reardon, and D. M. Sander

カナダ国立科学研究院・建設研究所

**梗概:** 本論文では物質放散と室内空気質のモデリングに関する三年間の共同研究委員会プロジェクトの概要を紹介する。本論文は、特にこのプロジェクトの研究計画・成果に着目し、更にタスク毎に研究計画からその成果に至る研究プロセスに関しても報告する。

## 1. はじめに

省エネルギー的かつ良質な室内空気質を提供するためには、2つの要因の制御が重要となる。即ち“汚染源の制御”と“効率的な換気”である。従って、建材・施工材や家具からの有害な化学物質の放散特性を徹底的に解明することが必要となる。カナダ国立科学研究院・建設研究所(NRC/IRC)は物質放散と室内空気質のモデリングに関する三年間のプロジェクトを行ってきた。研究委員会は研究課題の優先順位の決定及び研究成果を普及させるために設立されている。この研究委員会には、カナダ自然資源(NRCan)、カナダ抵当及び住宅公社(CMHC)、カナダ木材機構(Canadian Wood Council)、化学製造者協会(Cheical Manufacturers Association)、USG 公社(USG Corporation)、石膏協会(Gypsum Association)、日本の建設省建築研究所(BRI)及び日本建築センター(Building Centre of Japan)等がメンバーに含まれている。本論文はこのプロジェクトの概要と幾つかの研究成果を紹介する。

## 2. プロジェクト概要

本プロジェクトの主要な目的は、室内空気を良質な特定のレベルにするため、新築と既存建物における建材・施工材の選定に関するガイドライン及び換気方針を開発することである。これらの目的を達するため、物質放散特性を予測するモデル及び入力データが必要となる。建物設計者及びエンジニアはこれらのモデルとデータを用いることで、室内空気質レベルを予測することが可能となる。従って、本プロジェクトの研究計画は実験室実験、モデリング及び現場実測による検証、という三つのタスクより構成される。以下に各タスクの簡単な説明を示す。

### 2.1 実験室実験

実験室実験では小型チャンバーと大型チャンバーの2種を用いる。チャンバー実験の主要な目的の一つは、一般的に使用される建材・施工材の物質放散データを蓄積することである。本プロジェクトでは6種類のウェット型の材料(木材着色料、ポリウレタン、ワックス、ペイント、接着材、防水剤)及び11種類のドライ(乾燥)型の材料(3種類のカーペット、下層緩衝剤、パーティクルボード、合板、タペストリー、石膏ボード、固形木材、天井タイル、ビニル床材)を測定した。この17種類の建材・施工材の各々に対して、地元建設業者の推薦により、一般的に使用される製品を3種類選択し測定した。その他、5種類の複合材料(カーペット+接着剤+基礎、ビニル+接着剤+基礎、合板+下張り材料+合板、オフィスの仕事場、厨房キャビネット)も測定した。これらの測定結果はデータベースに収録され、本プロジェクトで開発された、あるいは開発中の種々の予測モデルに利用される。

物質放散データベースの作成に関して、堅実な仕事がなされているが、更に実用的なものとするためには、より沢山のデータが必要である。本プロジェクトのもう一つの主要な目的は、物質放散測定について標準的な実験方法・手順を開発することである。異なる実験室から得られた測定結果に対して、このような標準的な方法・手順を用いれば比較可能となり、本データベースに収録することもできるようになる。このような実験方法・手順を開発するため、温度、境界層の特性、シンク(吸・脱着)効果等、種々の要

因による建材・施工材の物質放散に対する影響を検討することが必要である。従って、これらの影響を評価する実験も行った。現状では、小型チャンバーを使用した2つの ASTM 測定方法を提案している。1つは塗り材料に関して、もう1つは木材をベースとしたパネルに関してである。合衆国環境保護局 (USEPA) との共同研究で、ウェット型の材料測定に関する ASTM 測定方法 が開発中である。また USEPA 及びオーストラリアの CSIRO との共同研究で、室内建材・家具等からの VOC 放散特性を決めるため、大型チャンバー実験に関するガイドラインも提案している。

## 2.2 モデリング

本プロジェクトでは、発生源 (ソース) とその減衰、室内シミュレーション等、幾つかのモデルを開発している。ソースモデルには実験 (経験) モデルと物理 (物質移動) モデルがある。

**2.2.1 ソースモデル：実験 (経験) モデル：**これらのモデルは測定された VOC 濃度を適当な式 (例えばべき乗則) に当てはめることにより減衰関数を得るものである。その主要な応用は、ある種類の物質放散に対して、測定から得られた短期の放散データを用い、その長期の放散特性を推定することである。標準実験手順により物質放散実験を行えば、このようなモデルを用いることで実験期間の短縮が可能となる。

**2.2.2 ソースモデル：物理 (物質移動) モデル：**この種類のモデルは建材から空气中に伝達される放散プロセスを支配する基礎方程式を解くものである。本プロジェクトでは、ドライ型の材料とウェット型の材料に対応する二つの物質移動モデルをそれぞれ開発した。ドライ型の材料では、その放散特性に関して境界層の影響は無視できるほど小さいため、境界層を含めた室内全体で VOC 濃度が均一であると仮定することが可能である。ドライ型の材料の放散は単純に材料内部の拡散、及び材料表面から周囲空気 (境界層) への伝達に支配されると仮定する。材料表面から空気への伝達は、界面係数で計算される。界面係数とは、材料・空気境界面における平衡状態下の材料側 (固相) における VOC 濃度と空気側 (気相) における VOC 濃度の比である。材料内部の拡散には、三次元拡散方程式を用いた。この方程式を解くためには、境界条件と初期条件の他に、化学物質の材料内拡散係数・界面係数・材料内部の化学物質の初期含有量が必要である。本プロジェクトでは、一般的な建材に対する各種 VOC の拡散係数・界面係数を測定するための実験測定手法を開発している。材料・空気境界面の空気側 (気相) の VOC 濃度はヘッドスペース分析法により求められる。その測定結果と対応する界面係数によって材料中の VOC 初期含有量が推測される。

ウェット型の材料の研究は、ウェット材料 (例えば木材着色料) を多孔質基層材料 (例えば木板) に塗布した場合、その基層材料を含む VOC の放散特性を検討するものである。VOC の基層材料における拡散、ウェット材料の薄い層 (基層材料表面部分の湿潤層) における拡散、材料表面と空気の境界面での輸送、室内空気中の移流・拡散による輸送プロセスを考慮してモデル化されている。各層における各々の支配方程式は基層材料の順から次のように示される。

- 基層材料 : 1次元拡散方程式
- 薄いウェット材料 : 3次元拡散方程式
- 材料表面と空気の境界面 : 固相(材料中)濃度と気相(空气中)濃度を関連づける界面係数
- 空气中 : CFD (連続の式、等温度場の3次元運動量方程式) による流れ場の解析、VOC の輸送方程式の解析

以上の二つの物質移動モデルは、VOC 全てまたは個々の VOC の放散率を評価できる。これらのモデルは、研究レベルにおいては VOC 放散メカニズムの解明に多大な貢献をしているが、一般に使用することは困難である。拡散率を予測する簡易モデルの開発に必要なデータ作成に応用される。



**2.2.3 シンクモデル：**室内建材・施工材は空気中の VOC を吸収・吸着し、その後空気中に再放散（脱着）することがある。この現象をシンク効果と言う。シンク効果は室内 VOC 濃度に大きな影響を与えるため、室内空気質の予測にはこれらの影響を考慮する必要がある。幾つかのシンクモデルが既に提案されているが、本プロジェクトではこれらの既存モデルを評価・考察し、室内空気質予測に最も適当なモデルを選択することを目的とした。ビニル床タイル、塗り石こう壁ボード、天井タイル及びカーペット等の材料に対して実験を行い、Langmuir 型吸着等温式（線形シンクモデル）が室内環境における建材のシンク効果に良く対応することを明らかにした。このモデルはある温度の下で、VOC の吸着率は空気中の VOC 濃度に比例し、一方 VOC の脱着率は材料中に吸着されている VOC の総量に比例すると仮定している。このモデルには、吸着率係数  $ka$  及び吸着・脱着平衡係数  $Ke$  という二つの係数がある。この二つの係数の値は使用者によって決められる。本プロジェクトは 5 種類 VOC（エチルベンゼン、シクロヘキサン、1,4-ジクロロベンゼン、ベンゾアルデヒド、ドデカン）に関して、上記 4 種類の建材における  $ka$  と  $Ke$  の値を測定した。その他、 $Ke$  が VOC 蒸気圧力に依存する関係も発見した。

**2.2.4 室内シミュレーションモデル：**建材・施工材の VOC 放散データに基づいて室内における VOC 濃度を予測するシングルゾーンモデルを開発した。このモデルは室内汚染質の完全混合を仮定している。入力データにはローディング比率、汚染源（放散材料）の面積、化学物質の種類、時間により変化する放散率、室内表面のシンク特性、室又は住宅のサイズ、及び換気回数等がある。このモデルを用いるため、一般的に使用される建材の化学物質放散データを収録したデータベースが作成されている。

### 2.3 現場実測による検証

シングルゾーンモデルの予測精度を検証するため、NRC の二階建て研究棟において実測を行った。この測定では、(1) 5g のトルエン d-8 をガラス皿に入れたもの、(2) 商用木材着色料をオーク板（サイズ：42cm × 28cm）に塗布したもの、という二種類の VOC 汚染源を設定した。木材着色料からは、主にノナン、デカン、ウンデカン、ドデカンの 4 種類の VOCs が発生する。各 VOC 汚染源はそれぞれ電子天秤により、その重量減衰の時系列変化を測定する。測定中は室内暖房により、汚染源からの化学物質放散と化学物質の空気中への一様拡散を促進させた。室内空気への採取（サンプリング）は実験棟の 4 カ所で行い、実験開始直後からサンプリングを開始している。サンプリング間隔は実験開始直後（最初の 4 時間）は 4 分間隔で行い、実験終了間際は 60 分間隔で行った。

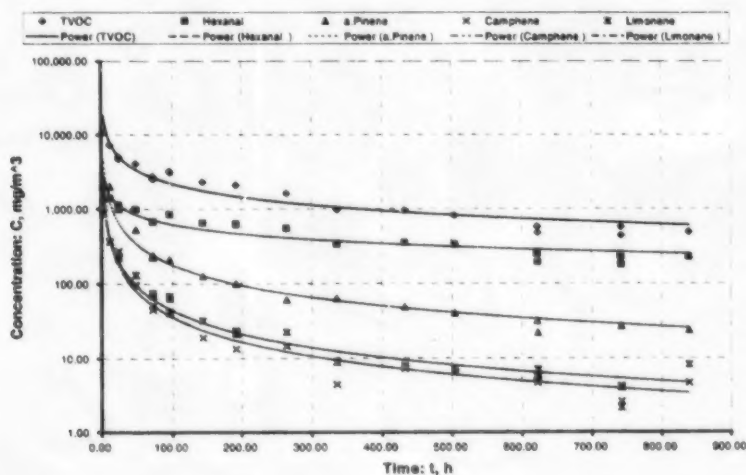


図1 VOC 濃度の測定結果とモデルとの比較（パーティクルボード）

### 3. 成果例

本プロジェクトにより数多くの研究成果を得た。ここでは、幾つかの成果を例として紹介する。

#### 3.1 小型チャンバー：ドライ型の材料

パーティクルボードから放散された TVOC と主な 4 種類の各 VOC 濃度の測定結果を図 1 に示す。その測定結果はべき乗モデルで当てはめられる。実験結果とべき乗モデルは大変良く一致しており、短期間の測定結果を基に、長期間の放散特性を予測する可能性を示している。

#### 3.2 小型チャンバー：ウェット型の材料

ウェット型の材料の放散特性は、ドライ型の材料に比べより複雑である。図 2 はポリウレタン塗料からの VOC 放散特性を示す。TVOC と主要な 4 種類 VOCs の濃度が表示されている。図 2 に示すように、実験開始から最初の 8 時間において VOC 濃度は急速に減衰する。その後の 24 時間は VOC 濃度が緩やかに減少する。この二つの期間を経た後、VOC 濃度の減衰性状は図 1 に示されたドライ型の材料と類似するようになる。上記の各期間では放散性状がそれぞれ異なるため、各期間の濃度減衰プロファイルを三つの方程式に当てはめる。即ち、初期期間は VB (Vapor pressure-Boundary layer) モデル、第 2 期間は一次元指数モデル、第 3 期間はべき乗モデルを用いる。図 2 にはこれらの予測モデルの結果も併せて表記しており、測定結果は各モデルに非常に良く一致している。

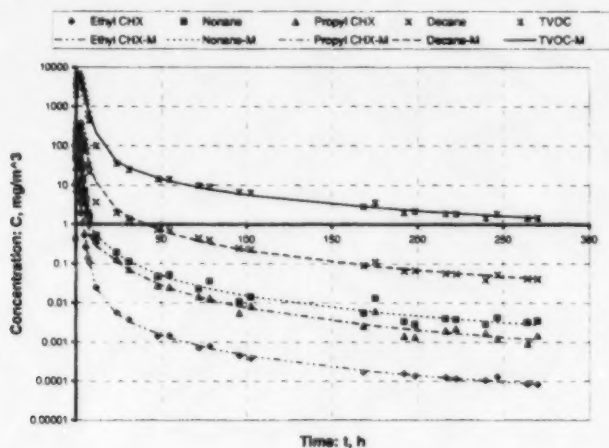


図 2 VOC 濃度の測定結果とモデルとの比較 (ポリウレタン塗料)

表 1 オフィスワークステーションから放散される各種 VOCs

脂肪族炭化水素	Butane; Pentane; alpha-Pinene; Decane; Limonene; Branched C11; Undecane; Branched C12; Dodecane; Derivative of neoprene; Hexadecane.
芳香族炭化水素	Benzene; Toluene; Ethylbenzene; o-, m-, p -Xylene; Styrene; Propylbenzene; Trimethylbenzenes; 3-cyclohexen-1-yl-benzene (4-PC).
アルデヒド類	Pentanal; Hexanal; Heptanal; Octanal; Nonanal; 2-Nonenal, (E)-; Decanal.
ケトン類	Acetone; 2-Butanone; Acetophenone
塩素類炭化水素	Trichloromonofluoromethane; Methylene Chloride; 1,4-dichlorobenzene.
アルコール類	Methanol; Ethanol; I-propanol; 2-butoxy-ethanol; Undecanol.
その他	Carbon disulfide; Acetic Acid; Propanoic acid, 3-ethoxy-, ethyl ester; Phenol; 2,6-t-Butylo, p-chinon; Butylated Hydroxytoluene (BHT).

### 3.3 大型チャンバー：カーペット・家具を整備しているオフィスワークステーション

表1はこのワークステーションから放散される45種類VOCsを示す。45種類のVOCsの中で、特に大量に放散されるものは、ノナンナール、フェノール、トルエン、イプロパノール、ペンタン、アセトンの6種類である。

### 3.4 大型チャンバー：シンク効果

図3にシンク効果の実験結果を示す。5種類のVOCsを混合した空気をチャンバー内に注入した後、チャンバー濃度を80時間測定した。シンク効果がなければ、ガス濃度の減衰は典型的な指数関数に従うことになる。この想定を実証するため、5種類のVOCsの他に少量の $\text{SF}_6$ も注入した。 $\text{SF}_6$ は通常チャンバーに吸着されないと考えられる。実験結果は予想通りであり、即ち $\text{SF}_6$ 濃度曲線はシンク効果を考慮しない場合の解析解（指数関数）に良く一致した。その一方で、検出限界以下のドデカンを除いて、他の4種類のVOCs濃度減衰は解析解の指数関数よりかなり緩やかである。この原因はシンク効果にあると思われる。

図3はVOCの沸点が高いほど、その減衰は遅くなることも示している。実験に用いた5種類のVOCの中では、ドデカンの沸点が最も高い。ドデカンが検出されなかったことは、ドデカンが完全にチャンバーに吸着されたため、再放散（脱着）されるまでにより長時間必要となることが原因の一つと考えられる。シンク効果について更に研究する余地がある。特にシンク効果の強弱とVOCの物理・化学特性（沸点、極性、分子構造等）との関係を解明することが重要である。

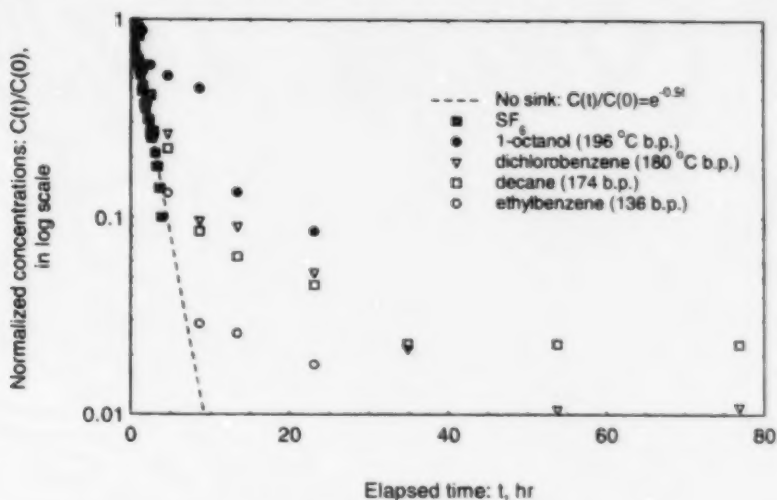


図3 シンク効果の測定結果

### 3.5 シミュレーション結果

図4に典型的なシミュレーションケースの結果を示す。ある換気システムを持つ室内において、建材・施工材からVOCが放散される場合、その室内濃度を予測することを目的としたものである。このようなシミュレーションを行うためには、使用者は幾つかのデータを入力する必要がある。図4に示される例では、入力データとして室体積、換気量及び換気時間、建材・家具からのVOC放散データ等が必要となる。その中で、VOC放散データは本プロジェクトで開発されたデータベースより提供される。図4は午前6時から午後7時まで換気システムを運転した場合の、二日間におけるVOC濃度のシミュレーション結果を示している。換気システムを運転しない時間帯では、TVOC、4-PC及びトルエンの濃度が増加することが図4から分かる。毎朝6時から換気システムを作動させると、VOC濃度が直ちに減少することも示されている。

of the houses (detached/apartment) and the seasonal difference (summer/winter). The residences newer than 3 months were defined as the "new residence" and the older than 6 months were to be the "old residence". Formaldehyde were sampled on a passive type gas tube (Shibata 8015-069) and analyzed by AHMT Method. VOCs were, on the other hand, sampled on an active carbon gas tube (Shibata 8015-053) and analyzed by GC/FID. 33 compounds, including one unidentified compound. TVOC concentration was calculated from converting these compounds to n-Hexane equivalent values. Analytical conditions are shown in table 2.

## RESULTS and DISCUSSION

Figure 1 and 2 show the percentiles of HCHO and TVOC concentrations. The mean concentration of formaldehyde and TVOC were 0.4878 ppm and 3640 mg/m<sup>3</sup>. From the standard deviation 0.0415 ppm and 8239 mg/m<sup>3</sup>, range of the concentrations measured in the residences were very wide. Both formaldehyde and TVOC were much higher comparing to Japanese guideline 0.08 ppm for formaldehyde or 300 mg/m<sup>3</sup> for TVOC. The percentage of residence under the guideline was 84% for formaldehyde but only 21% of the residence was below the TVOC guideline. The concentration ratio of new houses to old ones and formaldehyde to TVOC concentrations were 1.7 and 29.1, respectively. Concentrations of both contaminants were higher in new residences. The reason for this is considered that the newer materials, including wet materials such as adhesives, paints and/or waxes, are emitting more gases. In this study we did not measure the air exchange rate because of various limitations in the practical fields, but we assumed that the newer residences are tighter than the older residences. Comparing the types of residences, apartment houses were 1.6 times higher in formaldehyde and 14.3 times higher in TVOC. As we could not explain the reason for this further study is needed. Difference between the seasons in formaldehyde concentration was 1.35 times, and that in TVOC concentration was 2.3 times higher in the winter time. During the winter time, domestic kerosene heaters are often used in Japan, which emit a considerable amount of formaldehyde and other VOCs.

The VOC concentrations are shown in Figure 3. The concentrations of terpenes and aromatic hydrocarbons concentration were high. In terpenes  $\alpha$ -Pinene and Limonene were the highest compounds which are known emitted from wooden products. In aromatic hydrocarbon, Toluene, m,p-Xylene, 1,2,4-Trimethylbenzene, 1,2,3 -Trimethyl benzene and Ethyl benzene were high. These compounds are contained in solvents, which are used in adhesive, wood stain and so forth.

The relation between the years past after completion and formaldehyde concentration or TVOC concentration and shown in Figure 4 and 5. Both concentrations remained high still after 1 year elapsed. But in the first year there is a inflection point of the decay rate. After the inflection point the decay rate seem to become gentle. The years needed to for these emissions to become steady are 6 years for formaldehyde and 8 years for TVOC. When the curve is resembled to an exponential equation the regression coefficient were  $r=0.5$  for formaldehyde and  $r=0.75$ . From these equation the years needed to satisfy the guidelines, formaldehyde =0.08ppm or TVOC =300mg/m<sup>3</sup>, were 0.5 years for formaldehyde and 2.75 years for TVOC.

The concentrations of formaldehyde and TVOC before and after occupancy are shown in Figure 6. Formaldehyde and TVOC concentration have decreased 61% and 83% after

occupancy comparing with those concentrations before occupancy. The doors and windows of the residences are kept closed when they are vacant, though after occupancy the occupants open them and the rooms are ventilated in a certain time. From this, we can say that before occupancy, not the period after completion but proper ventilation much more effective to decrease indoor VOCs concentrations than the period after completion.

## CONCLUSION

- 1) VOCs of 50 residences in Japan were measured.
- 2)  $\alpha$ -Pinene and Toluenes concentration were high in the individual compounds.
- 3) More than 8 years is needed to for the VOC concentration to become bellow the guidelines.
- 4) Proper ventilation is needed before occupancy

## ACKNOWLEDGMENTS

The studies have been conducted by the research fund sponsored by the Ministry of Health and Welfare of the Japanese Government.

## REFERENCES

- 1) Ikeda, Kimura, Matsumura and Hori: Indoor Air Quality in Japanese Houses- Part 1: Formaldehyde Concentration Measurement, Proc. of Healthy Buildings/IAQ'97, Vol. 3, 75-80, 1997
- 2) Kimura, Ikeda, Matsumura and Hori: Indoor Air Quality in Japanese Houses- Part 2: VOC Measurement, Proc. of Healthy Buildings/IAQ '97, Vol.3, 75-80, 1997
- 3) Nozaki, Yoshizawa, and Ikeda: Emission Characteristics of Formaldehyde from Domestic Kerosene Heaters In Dwellings, Proc. of The 7th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Vol.2, 675-680, 1996
- 4) Hori and Yang, Development of Methods for Monitoring TVOC with Discriminator of Porous Polymer Beads and Its Application, Proc. of the 7th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Vol.3, 321-326, 1996

Table 1 Residences Measured

Residence Type	Location	Method	Numbers	Occupancy	Numbers
New	Kohriyama	Conventional	10	Occupied	
		Industrialized	0	Occupied	
		Apartment(RC)	0	Occupied	
New	Tokyo	Conventional	3	Occupied	
		Industrialized	6	Occupied	
		Apartment(RC)	16	Vacant	5
			Occupied	11	
Old	Kohriyama	Conventional	7	Occupied	
		Industrialized	1	Occupied	
		Apartment(RC)	0	Occupied	
Old	Tokyo	Conventional	0	Occupied	
		Industrialized	3	Occupied	
		Apartment(RC)	4	Occupied	
Total			50		

RC: Reinforced Concrete



Table 2 Conditions of GasChromatography

Gas Chromatography	GL Science GC-325
Capillary Column	CP-SIL 0.5mm x 100m
Column	40°C (3min/Const.) → 40°C (10°C/min) →
Temperature	100°C (3°C/min) → 180°C (10°C/min)
Program	→ 230°C (10min/Const.)
Flow Rate	18mL/min
Split Ratio	2:01
Detector	FID

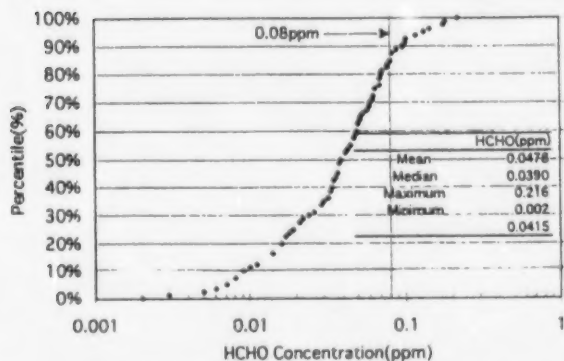


Figure 1 Percentile of Formaldehyde Concentration

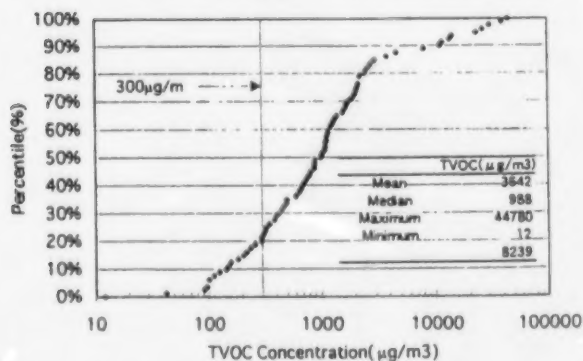


Figure 2 Percentile of TVOC Concentration

Table 3 Mean Concentrations of The Measurements

	HCHO(ppm)			TVOC(µg/m³)		
	Winter	Summer	Annual	Winter	Summer	Annual
New Houses	0.062	0.040	0.051	1490	430	430
Old Houses	0.028	0.013	0.022	1650	320	320
All Houses	0.049	0.030	0.040	1550	400	400
New Apartments	0.068	0.066	0.067	14340	5920	10320
Old Apartments	0.049	-	0.049	420	-	400
All Apartments	0.064	0.066	0.065	10860	5920	8850
All Residences	0.054	0.040	0.048	4790	2130	3640

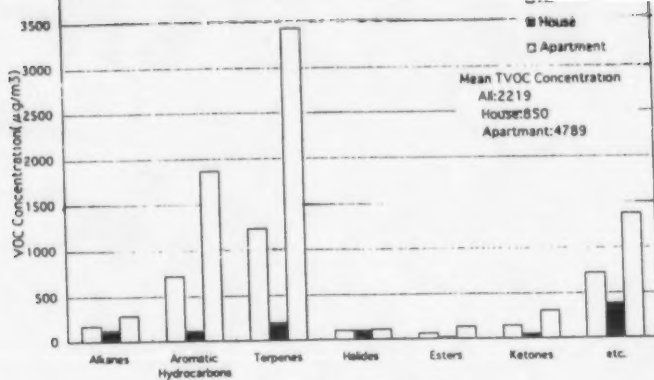


Figure 3 VOC Concentration in Groups

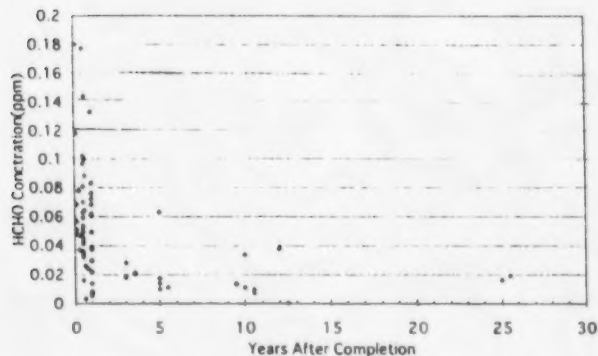


Figure 4 Years Past Completion and HCHO Concentration

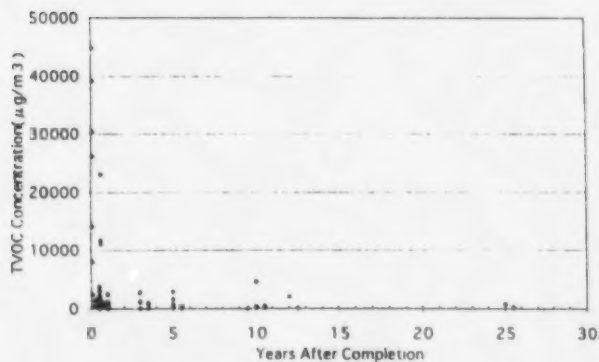


Figure 5 Years Past Completion and TVOC Concentration

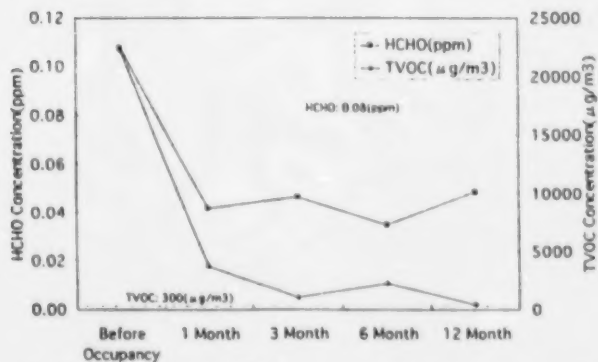


Figure 6 HCHO and TVOC Concentration in The First Year

# 居住状態における住宅室内の揮発性有機化合物に関する実態調査

池田耕一<sup>\*1</sup>、熊谷一清<sup>\*2</sup>、堀 雅宏<sup>\*3</sup>、松村年郎<sup>\*4</sup>、

野崎淳夫<sup>\*5</sup>、木村 洋<sup>\*6</sup>、飯倉一雄<sup>\*7</sup>

\*1 国立公衆衛生院建築衛生学部部长

\*2 同上 研究課程

\*3 横浜国立大学工学部物質工学科助教授

\*4 国立医薬品食品衛生研究所室長

\*5 東北文化学園大学助教授

\*6 長谷工コーポレーション株式会社技術研究所研究員

\*7 東京工業大学工学部大学院博士課程

## 1. はじめに

近年、日本においても住宅の省エネルギー化を目指した高気密・高断熱住宅がかなり建設されるようになってきている。一方、建材や仕上げ材、生活用品等の生産技術の進歩により、在来みられなかった新しいタイプの建材等が、室内に導入されはじめており、それらから発生する揮発性有機化合物(以下VOC)による化学物質過敏症などに代表される健康影響が懸念されている。しかし、住宅内の実状を示す基礎データが十分とはいえず、特に、実際に、生活が営まれている住宅での実態の把握が緊急な課題となっている。

海外での報告として、Krauseはドイツ連邦共和国の500軒の住宅を対象に測定を行った結果、総揮発性有機化合物(以下、TVOC)濃度は平均値394mg/m<sup>3</sup>、50パーセントイル312mg/m<sup>3</sup>、90パーセントイル665mg/m<sup>3</sup>であり濃度の範囲は72-2670mg/m<sup>3</sup>であり<sup>1)</sup>、n-アルケン属がTVOC濃度の指標物質として有効であると報告している。Otsonはカナダの757件の住宅を対象とした調査ではタバコ煙(ETS)、家庭用品、プラスチック製品が室内のVOCに影響を与えている<sup>2)</sup>としている。また、Seifert<sup>3)</sup>、Wolkoff<sup>4)</sup>は室内VOC濃度は居住者の活動に大きく左右されると報告している。さらに、Wallaceは米国の5つの都市の600軒の住宅を対象にVOCの測定を行っており、喫煙、熱湯、ドライクリーニングが行

われた衣類や防虫剤が居住状態におけるVOCの主な発生源としている。また、室内濃度を屋外濃度で除したI/O値はいずれも1より大きく、VOCは多くの場合室内由来である<sup>9)</sup>と報告している<sup>9)</sup>。

一方、国内の住宅でのホルムアルデヒド(以下HCHO)とVOC報告としては、Parkが築5-35年の11戸<sup>5)</sup>、坂本が鹿児島市内の木造住宅17住戸<sup>14)</sup>、豊住が生活状態の11住戸<sup>16)</sup>、宮崎がリフォーム前後の3住戸<sup>20)</sup>、守屋が築3年以内の8住戸<sup>21)</sup>、湯浅はリフォーム前の2戸<sup>22)</sup>で実測調査を行っている。その結果、多くの報告で同定された物質のI/O値がいずれも1より高く、またキシレン、トルエン等の溶剤系の物質と防虫剤に使用されるp-ジクロロベンゼン濃度が高いことが指摘されている。それ以外の住宅に関する報告では、環境因子が制御された実験住宅における測定例が多く、その測定対象物質としてHCHOのみを測定している報告が殆どである。しかし、いずれにおいても居住者により様々な化学物質が持ち込まれることが予想される生活状態における住宅内のHCHO、VOCの濃度分布や環境因子による影響についてその実態を報告した文献は少ない。

本研究では実際に人が住んでいる住宅を対象としHCHOとVOC32物質について測定を行い、季節変動、住宅種別の関連要因について検討した。

## 2. 測定・分析概要

### 2.1 測定時期

本研究では1996年3月に冬期、同年の8月に夏期の測定を行った。冬期の測定時期については、春期にずれ込んでいるともいえるが、生活中的燃焼器具の使用頻度、窓開け状況の検討より、冬期時の生活と相違ないことよりこの時期を冬期時の測定とした。

### 2.2 測定対象

測定対象住宅は郡山(福島県)と首都圏に建つ戸建住宅及び集合住宅の全50戸の住宅である。住宅の分類として冬期の測定開始時に築後3ヶ月以内の住宅を“新築住宅”(35戸)、6ヶ月以上経っている住宅を“既築住宅”(15戸)とした。また、住宅の工法としては在来工法、工業化住宅及び鉄筋コンクリート造の集合住宅に分類した。さらに、首都圏の集合住宅では、住宅を入居前および入居後とした(表1)。

なお、同一の住宅で冬期と夏期の両方で測定を行ったものについては夏期の測定開始時に築3ヶ月以上経過していることになったが、「新築」と分類した。また、後の築年

数と濃度との比較では竣工後の年月により処理を行った。

## 2.3 測定方法

各住宅において、HCHO、VOC、温度、湿度の測定を行った。サンプリング、温湿度は居間の中央部の床面より高さ1.2mの位置で測定した。入居前の住宅では、測定開始前の30分間窓を開け換気を行い、その後開口部を密閉し測定を開始した。また、サンプリングを行う前に、入居前の住宅では屋外に通じる開口部、換気口を全て閉じ、室内の間仕切り建具は開放した状態で測定を行った。

入居後の測定では、通常の生活状態の曝露量を把握するため、入居者による換気、喫煙、窓明けは通常の生活通りとし、アンケート調査により窓明け換気時間や喫煙本数、暖房器具の使用状況の把握を試みた。

### 2.3.1 HCHOの測定

本研究ではパッシブサンプラーと、USEPA（米国環境保護庁）で採用されているDNP H-カートリッジポンプ吸引法<sup>10)</sup>により24時間平均濃度を求めた。以下では、その詳細について述べる。

#### 2.3.1.a パッシブサンプラーによるHCHOの測定<sup>12)</sup>

##### (1)サンプリング法

HCHOのサンプリングはパッシブサンプラー法を用い、サンプリング時間を24時間としサンプルの捕集を行い、その後アルミ製保存袋に入れ冷暗な環境下で保管しサンプル試料とした。

##### (2)検出限界

本研究で用いたパッシブサンプラーの検出限界<sup>23)</sup>を検量線の最小読み取り吸光度より求めた。その結果、24時間サンプリングで0.005ppmとなった。パッシブサンプラーの測定精度を検討するため、HCHO濃度0.05ppmのチャンバー内に本サンプラーを設置し、24時間サンプリング後の測定を行った結果、パッシブサンプラーでのHCHOの捕集量の変動係数<sup>23)</sup>は8.9%であった。

##### (3)定量操作

パッシブサンプラーより捕集した試料空気は以下の手順で定量を行った。パッシブサンプラーより捕集剤を取り出し、25mLの共栓試験管に入れ、これに純水15mLを加えて



軽く栓をし、60℃の温水浴中で15分間加温する。室温に放冷、浸とう後、その上澄み液を遠心分離器に移し、3000回転/5minで遠心分離した。この上澄み液を分析用溶液とし、その2mLを20mLの共栓試験管に取り、これに2mLの5N水酸化ナトリウム溶液2mL、4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1,2,4-トリアゾール溶液(AHMT)2mLを加え混合後、室温に20分間放置し、過ヨウ素酸カリウム溶液2mLを加え、軽く栓をし混合する。そして、10分後に波長550nmで吸光度(10mmセル)を測定する。さらに、未使用サンプラーについては同様の操作を行い、ブランクとし検量線を引き濃度を(1)式より算出した。

$$C=(W \times 7.5) / (6.7 \times t) \cdots \cdots (1)$$

C=HCHO室内濃度(ppm)

W=検量線から求めたHCHO重量(mg)

7.5=希釈係数

6.7=比例定数(mg/ppm・h)

t=サンプリング時間(h)

### 2.3.1.b DNPH-カートリッジボンブ法

DNPH-カートリッジは捕集剤に長さ30mm、2gのDNPH含浸シリカゲル700mg充填されたロングタイプ(Waters社製)を使用した。

#### (1)サンプリング法

試料の採取法とし、市販のDNPH含浸カートリッジを小型吸引ポンプに接続し、100mL/minの流速で24時間試料空気を捕集した。サンプリング終了後カートリッジをアルミ製保存袋に入れ、冷暗な場所に保管し分析試料とした。

#### (2)検出限界

採取試料時間及び検出下限値(10sec)から本法の検出下限濃度を算出した結果、24時間サンプリングで0.0003ppm、8時間で0.01ppm、変動係数は3.1%であった。

#### (3)定量操作

DNPH-カートリッジにシリンジを取り付け(サンプリング口とは反対側)バックフラッシュの原理により操作した。これにアセトリニトリル10mLを入れ、ゆっくり押し出し、カートリッジに捕集された誘導体を溶出し、分析試料とした。分析試料溶液20mLは高速液体クロマトグラフィーに導入し分析した。なお、ブランクには未使用のカートリッジ

について同様の操作により求めた。濃度の算出は(2)式による。また、表2に高速液体クロマトグラフの分析条件を示す。

$$C = v \times (273 + t) / 273 \times 1/V \cdots \cdots (2)$$

C=HCHO室内濃度(ppm)

v=検量線から求めたHCHOの体積(mL)

t=室温(℃)

V=試料空気の採取(L)

### 2.3.1.c パッシブサンプラーとDNPH-カートリッジ法との比較

本研究で用いたパッシブサンプラー法とUSEPAで採用されているDNPH-カートリッジポンプ吸引法との比較を同時測定により行った(図1)。その結果両者の間には $r=0.96$ と高い相関が認められた。

### 2.3.2 VOCの測定<sup>18)</sup>

#### (1) サンプルング法

作業環境測定用活性炭捕集剤(20/40メッシュの活性炭を150または200mg充填したもの)と吸引ポンプ、ロタメータを接続し、200~300mL/minの流量で20~24時間、180L以上通気した。終了後、両端を栓で密閉しさらにアルミパックに入れ密閉後、冷暗場所にて保存した。

#### (2) 定量操作

捕集管から活性炭を2mLのバイアル瓶にあげ、二硫化炭素を1mL入れ栓をし、2分間振とうし、3時間放置する。上澄み液を2mLマイクロシリンジでガスクロマトグラフにかける。同様の操作を未使用の活性炭管についても行ない、ブランク値とする。標準は予想される化合物の純度98%以上の液体を等量混合したものをメタノールで0.1%(V/V)溶液とし、さらに二硫化炭素で100倍に希釈したものを用いた。各成分の濃度は(3)式より算出した。

$$C = Mk \times L / l \times 1/Q \text{ (mg/m}^3\text{)} \cdots \cdots (3)$$

M::各成分の定量値(ng)

k::抽出液の希釈倍率

L:抽出液の量(mL)

I: 注入量(mL)

Q: 通気量(L)

未同定成分はそのピークの和をn-ヘキサンに換算した。TVOC<sup>2),3),7)</sup>はガスクロマトグラムのピークの総面積をn-ヘキサンに換算し重量濃度を求めた。ガスクロマトグラフの分析条件を表3に示す。また、VOCの同定物質を表4に示す。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 全体（新築、既築、集合住宅）の測定結果

HCHO及びTVOC実測結果を表5に示す。全住宅のパーセンタイルを片対数で表すとHCHO、TVOCのいずれにおいても、S字の分布傾向を示していることにより対数正規分布である事が分かる（図2、図3）。HCHO、TVOCの濃度の統計値、パーセンタイルに対するHCHO、TVOCの濃度を図2、図3に示す。HCHO濃度の平均値0.0478(ppm)、中央値0.039(ppm)、標準偏差が0.0415(ppm)であることからばらつきが大きいといえる。また、TVOC濃度の平均値は3640(mg/m<sup>3</sup>)、中央値980(mg/m<sup>3</sup>)であり、標準偏差は8240(mg/m<sup>3</sup>)でありTVOC濃度もばらつきが大きい結果となった。

これを、厚生省が示したHCHO濃度指針値の0.08ppm<sup>24)</sup>と比較するとこれ以下の濃度の住戸は84%であるのに対し、Seifertが提案しているTVOC濃度の推奨値<sup>7)</sup>300mg/m<sup>3</sup>を満たしている住戸は21%であり、日本の住宅ではTVOC濃度の推奨値の達成率が低いといえる。VOCを化学種別に検討すると、芳香族炭化水素及びテルペン類で半分程度が占められている。芳香族炭化水素ではトルエンが多く、フローリング等用接着剤に含まれる有機溶剤が発生源として考えられる。また、テルペン類ではα-ピネンの高い住戸が多い。α-ピネンは植物性の有機化合物であり、天然材から揮発していると考えられる。

#### 3.2 住宅種別による比較

HCHO濃度平均値は、新築、既築の両方を含んだ戸建、集合住宅のいずれの住宅種別においても厚生省の指針値の0.08ppm<sup>24)</sup>以下であった。新築と既築の値を比較すると戸建では、既築になると58%HCHO濃度が減少している。これに対し、集合住宅では夏期データがとれなかったため冬期結果のみについて検討すると新築と既築とでは40%HCHO濃度が減少する結果となった。また、濃度分布より、新築住宅の分布幅は広く、新築住宅で使用されている建材からのHCHOの放散が影響していると考えられる。それに対し、

既築住宅では生活によるHCHO放散<sup>15,17)</sup>が影響していると考えられる。TVOC濃度について、戸建住宅での新築と既築の比は0.75であるのに対し、集合住宅ではその比が0.04、つまり既築になると新築時の96%のTVOCが減少する結果となった。しかし、既築の戸建住宅と集合住宅を比較するとその差は29%であり、既築住宅になると住宅種別によるTVOC濃度にあまり差が生じないと言える。ここでVOCを化学種別毎に比較すると(図4参照)、全住宅では木材起因のテルペン類が最も多く、続いて接着剤、塗料に多く含まれる芳香族炭化水素、脂肪族炭化水素の順になっている。新築、旧築の両方を含む住宅別では、芳香族炭化水素とテルペン類が戸建住宅に比べ集合住宅では16.5倍、17.4倍濃度が高いという結果となった。

住宅の工法別を比較すると在来工法のHCHO、TVOCの濃度はいずれも最も低く、続いて工業化住宅、鉄筋コンクリートの集合住宅という順番であった(表6)。

### 3.3 冬期と夏期の比較

#### ①HCHO濃度の冬期と夏期の比較

冬期と夏期のHCHO濃度を比較したものを図5から図7に示す。全住宅では、冬期が夏期に比べ濃度が1.3倍高いという結果となった。室内VOCの発生源として、建材や壁装材等に使用している接着剤が考えられ、夏期は開口部を開けた状態で生活しているのに対し、冬期は開口部を締め切った状態で生活していることから、室内濃度が引き上げられたものと考えられる。また、冬期では、室内の開口部を締め切った状態での開放型暖房器具の使用に伴う発生<sup>15,17)</sup>が加算されたと考えられる。

#### ②TVOC濃度の冬期と夏期の比較

全住宅の冬期と夏期のTVOC濃度の比は2.2倍とHCHOに比べてもその差は大きい。TVOCを比較すると冬期の新築と既築では差が見られなかったのに対し、夏期では新築と既築の差が大きいことから、冬期は開口部を締め切っているのと、石油ストーブ等の開放型燃焼器具<sup>15,17)</sup>、芳香剤などによるリモネン、防虫剤によるp-ジクロロベンゼンなどの建材以外の発生源がTVOC濃度に大きく影響していると考えられる。更に、新築時の冬期と夏期の差は5ヶ月間の経時変化と季節による住宅の開口部の開放頻度による差が影響したと推測される。

戸建住宅における冬期と夏期のTVOCの濃度分布を図8、図9に示す。冬期は新築住宅

で在来工法、工業化住宅の平均値はそれぞれ1370、1940 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) とSeifertの推奨値に比べ高い値を示した。一方、夏期は320、580 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) とやや高い値であった。多くの住宅においてSeifertのTVOC推奨値の300 $\text{mg}/\text{m}^3$ を超えており、既築住宅においても推奨値以下の住宅が少ない事から欧米の諸外国に比べ日本の住宅はTVOC濃度が高いといえる。

次に、集合住宅における夏期と冬期のTVOC濃度のを図10に示す。その結果、冬期が夏期の2.6倍高い値であった。これの属別のもを図11、図12に示す。これより季節に関わらず全住宅では脂肪族炭化水素とテルペン類が500 $\text{mg}/\text{m}^3$ を超えている。全住宅ではエステル類、ケトン類が冬期に高い。これを、新築と既築で比較するとほとんどの属で住宅の築年数に関わらず冬期のほうが濃度が高いといえるが、唯一既築住宅のエステル類は夏期のほうが高い値となっている。

### 3.4 温度、湿度の影響

チャンバー実験においては温度、湿度はHCHO、TVOCの放散を促進することが報告されている。また、生活が営まれている住宅においては温度とHCHO濃度とに相関がある<sup>17)</sup>という報告とないという報告の両方があることより、本調査でも温度、湿度を郡山にて測定を行った(図13~16)。その結果、本調査では温度、湿度とHCHO、TVOC濃度では相関が確認できなかった。これより生活が営まれている住宅においては温度、湿度等の環境因子のみならず、換気の状況や家具、生活用品などの居住者により室内に持ち込まれものにも左右されると推測される。

### 3.5 築年数とHCHO、VOC濃度の経時変化

HCHOとTVOC濃度と築年数との関係を図17、図18に示す。いずれの物質も指数関数的な減衰傾向になっている。これをHCHOとTVOCに分けて検討すると、HCHOにおいては相関係数は $r=0.50$ であり、住宅内でのHCHOの発生は建物以外の要因も考慮する必要があるといえる。また、近似式よりHCHOの発生が定常となる築年数は6年となり、それまでは発生量が減衰し続けることより、建材がHCHOの最大の発生源であると推測される。更にそれ以後については、居住者により室内に持ち込まれたものにも大きく影響されることが推測される。

TVOCについても指数関数的な減衰曲線を描いている。相関係数は $r=0.75$ と高くTVOC濃度は築年数に大きく依存している。また、近似式よりTVOC濃度が安定するといえる



までの年数は築後8年という結果になった。これを物質別に観ると、トルエンがかなり減少しているのに対し、 $\alpha$ -ピネンはほとんど減少しないという結果を得た。また、住宅によっては築年数には係わらず防虫剤から発生したp-ジクロロベンゼンが高い値を示しているものがあつた。さらに、築5年であるがトルエン、アセトン、p-ジクロロベンゼン、リモネンが高い住宅があつたが、この住戸は半年前に居間と洋室の2室及び床下をカーペットからフローリングにリフォームしており、その影響があるものと考えられる。

### 3.6 入居前と入居直後のHCHO、TVOC濃度の経時変化

入居前と入居後6ヶ月までのHCHOとTVOC濃度の経時変化を図19に示す。入居前と入居後1ヶ月との濃度を比較すると、HCHOが39%、TVOCが17%に減少している。その後は、経過月により上下する結果になっている。これより、施工期間中の放散量が多いことと、入居による開口部の開閉による換気の増加により、室内の濃度が減少したのと考えられる。また、HCHOとTVOCでは、減衰率が2倍も異なる事より成分そのものの化学的特性、あるいは発生源の状態により異なることが推測される。

### 3.7 HCHO濃度とTVOC濃度の関係

図20にはHCHOとTVOCの関係を示す。HCHOあるいはTVOCのいずれかが特異な濃度を示すものはあるものの、全体的な傾向としてはHCHO濃度が高くなるとTVOC濃度も高くなるものの、特に入居前に高い濃度を示すものもあり相関係数は $r=0.4$ と低い値を示した。そこで、建材による放散が特に多いと考えられる入居前のデータを母集団より除くと、HCHO濃度とTVOC濃度の相関係数は $r=0.58$ となった(図21参照)。ところが、さらに母集団より新築住宅を除いた既築住宅のみの相関は $r=0.09$ となることより、住宅の竣工より期間が経つに連れ、HCHOとTVOCの放散速度が変化することと、建材以外に起因するHCHOとVOCが大きく影響すると考えられる。

## 4. 結論

本研究では以下の結果を得た。

- 1) HCHOのサンプリング方法としてパッシブサンプラー法の有用性を確認した。
- 2) 本調査で測定した住宅のHCHO濃度の平均は $0.048\text{ppm}$ 、TVOC濃度 $3640\text{mg/m}^3$ であつた。
- 3) 集合住宅のほうが戸建住宅よりHCHO、TVOC濃度のいずれにおいても高い値を示した。しかし、既築住宅での住宅種別の濃度を比較するとあまり差がないという結果にな

った。

- 4) 冬期と夏期のHCHO、TVOC濃度を比較した結果、住宅種別、築年数にかかわらず冬期の濃度が高いことが分かった。
- 5) 温度、湿度とHCHO、TVOC濃度とでは相関が認められなかった。
- 6) 各物質の濃度の経時変化より建材が室内のVOC濃度を支配する時期と、生活により室内に持ち込まれるVOCが支配する時期があることが確認できた。
- 7) 新築住宅において入居によりHCHO、TVOC濃度の両方が大きく減少することが分かった。

## 謝辞

本研究では住宅での調査に当たり林氏(積水ハウス)、鶴飼氏(ミサワホーム)、河合氏(三井ホーム)、岩崎氏(大和ハウス)、田中氏(藤和)、田島氏(エアサイクル産業)、子安氏(三菱地所ホーム)に多大なる協力を得た。なお、本研究の実測は、厚生省が財団法人ビル管理教育センターに委託した「建材・機械等の揮発性有機化学物質に関する調査研究委員会」の研究費によって実施した。ここに記して感謝する。

## 引用文献

- 1) Krause, Mailahn, Nagel, Schulz and Seifert, "Occurrence of Volatile Organic Compounds in the Air of 500 Homes in the Federal Republic of Germany", The 4th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Berlin(West), Vol.1, pp102-105, 1987
- 2) Molhave, Bach and Pedersen, "Human Reaction to Low Concentrations of Volatile Organic Compounds", Environ. Int., Vol.12, 167-175, 1986
- 3) Molhave, "Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health", The 6th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, Vol.5, pp15-33, 1990
- 4) Otson and Fellen, Tran, Investigation of VOCs in Canadian Residences", The 6th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki, Vol.2, pp141-146, 1993
- 5) Park, Fujii, Yuasa, Kagi, Toyozumi and Tamura, "Characteristics of Volatile Organic Compounds in Residences", The 7th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Vol.3, pp579-584, 1996
- 6) Seifert, Schulz, Steinbach, Ullrich and Mailahn, "Seasonal Variation of Concentration

- of Volatile Organic Compounds in Selected German Homes", The 4th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Berlin(West), Vol.1, pp107-111, 1987
- 7) Seifert, "Regulating Indoor Air", The 5th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, Vol.5, pp35-49, 1990
- 8) Wolkoff, Cluasen, Nielsen and Molhave, "The Danish Twin Apartment Study, Part I: Formaldehyde and Long-Term VOC Measurements", The 5th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Vol.2, pp657-662, 1990
- 9) Wallace and Clayton, Volatile Organic Compounds in 600 U.S. Homes: Major Sources of Personal Exposure", The 4th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Berlin (West), Vol.1, pp183-186, 1987
- 10) USEPA Method 8315A, "Determination of Carbonyl Compounds By High Performance Liquid Chromatography(HPLC)", 1996
- 11) 池田、松村、堀、木村、"集合住宅における室内空気質実態調査(その1) HCHOの測定"、第15回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, pp373-376, 1997
- 12) 石川、吉澤、松村、"パッシブサンプラーを用いた換気量測定法に関する研究"、日本建築学会計画系論文集, Vol.467, pp47-54, 1995
- 13) 木村、池田、堀、松村、"集合住宅における室内空気質実態調査(その2) VOCの測定"、第15回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, pp377-380, 1997
- 14) 坂本、岩下、木村、"居住状態の戸建住宅におけるVOC's, HCHO濃度調査"、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp739-740, 1997
- 15) 菅原、"燃烧器具により発生するHCHO"、日本建築学会学術講演梗概集(近畿) pp 753-754, 1996
- 16) 豊住、藤井、湯浅、鍵、田村、"有機系ガスからみた住宅の空気質に関する研究"、第14回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp161-164, 1996
- 17) 野崎、吉澤、池田、"室内VOC、HCHO汚染に関する研究(その1)、開放型石油暖房器具の非メタン炭化水素発生特性(Part 1)" 日本建築学会計画系論文報告集、1999
- 18) 堀、楊、"住宅における揮発性有機化合物汚染と測定法に関する考察"、人間と生活環境、Vol.4, No.1, pp61-69, 1996

- 19)松村、村松、亀谷、”室内空気汚染に関する研究(第3報)、室内HCHO濃度について”、日本公衆衛生雑誌、Vol.30, pp303-308, 1996
- 20)宮崎、岩下、志波、高間、”住宅におけるVOCs濃度の低減を考慮した空気環境計画に関する研究 その1 リフォーム前の住宅及び新築住宅におけるVOCs濃度測定”、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp759-760, 1997
- 21)守屋、疋田、東実、新田、”新築住宅における揮発性有機化合物の実測調査第1報 冬期における揮発性有機化合物の実測調査” 空気調和衛生工学会学術講演論文集, pp53-56, 1997
- 22)湯浅、藤井、鍵、潘、”住宅の室内空気質に関する実態調査”、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp743-744, 1997
- 23)環境庁、”有害大気汚染物質測定方法マニュアル” ,pp45-46,1997
- 24)厚生省、”快適で健康的な住宅に関する検討会議報告書”、pp28、居住状態における住宅室内の揮発性有機化合物に関する実態調査、1998

表1 測定対象住宅

住宅の新旧	軒数	工法	軒数	入居の有無	軒数
新築(郡山)	10	在来工法	10		
		工業化住宅	0		
		集合住宅(RC造)	0		
新築(首都圏)	25	在来工法	3		
		工業化住宅	6		
		集合住宅(RC造)	16	入居前	5
				入居後	11
既築(郡山)	8	在来工法	7		
		工業化住宅	1		
		集合住宅(RC造)	0		
既築(首都圏)	7	在来工法	0		
		工業化住宅	3		
		集合住宅(RC造)	4		
合計	50		50		

表2 高速液体クロマトグラフ分析条件

高速液体クロマトグラフ	島津製 LC-5A
ガードカラム	Simpack G-ODS(4mm x 1cm)
分析カラム	Simpack GL-ODS(6mm x 15cm)
恒温槽	40℃
流量	1.3ml/min
移動相	アセトニトリル:水(60:40)
注入量	20 μL
測定波長	360nm

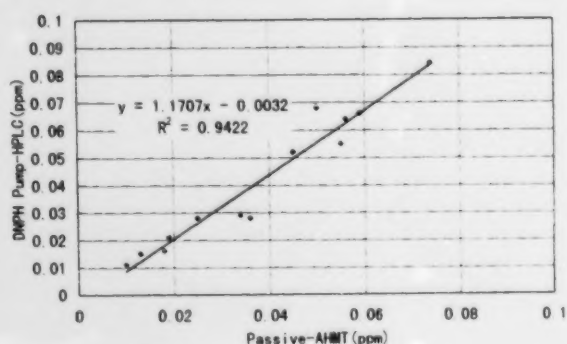


図1 パッシブサンプリング-AHMT法とDNPHカートリッジ-ポンプ-HPLC法の相関

表3 ガスクロマトグラフ分析条件

装置	GLサイエンス製 GC-325
キャピラリー・カラム	cp-sil 0.5mm x 100m
カラム温度	40℃->(10℃/min昇温)->100℃->(3℃/min)->180℃->(10℃/min)->
流量	18mL/min
スプリット比	2:1
検出器	FID

表4 VOC固定物質

脂肪族炭化水素類小計	n-ヘキサン、n-ヘプタン、n-オクタン、n-ノナン、2,2,4-イソオクタン、n-デカン、n-ウンデカン、n-ドデカン、n-トリデカン
芳香族炭化水素類小計	ベンゼン、トルエン、o-キシレン、m,p-キシレン、スチレン、1,3,5-トリメチルベンゼン、1,2,4-トリメチルベンゼン、1,2,3-トリメチルベンゼン、1,2,4,5-テトラメチルベンゼン、エチルベンゼン、ロビネン、リモネン
テルペン類	ジクロロメタン、p-ジクロロベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン
ハロゲン類小計	酢酸エチル、酢酸ブチル
エステル類小計	アセトン、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン
ケトン類	エタノール、n-ブタノール
アルコール類	その他（含未同定物質を含む）

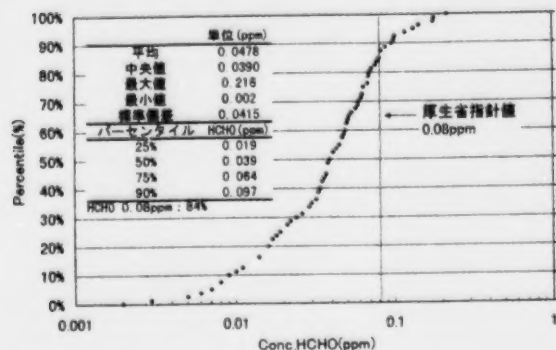


図2 ホルムアルデヒド濃度パーセンタイル

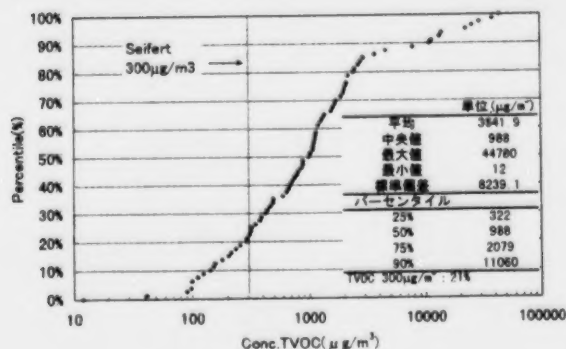


図3 TVOC濃度パーセンタイル

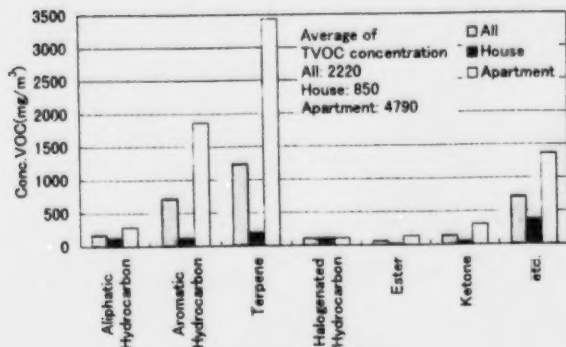


図4 VOC風別濃度

表5 ホルムアルデヒド、TVOC濃度測定結果

	Conc.HCHO(ppm)			Conc.TVOC(μg/m³)		
	冬期	夏期	年平均	冬期	夏期	年平均
新築戸建	0.062	0.040	0.051	1490	430	430
既築戸建	0.028	0.013	0.022	1650	320	320
全戸建	0.049	0.030	0.040	1550	400	400
新築集合	0.068	0.066	0.067	14340	5920	10320
既築集合	0.049	-	0.049	420	-	420
全集合	0.064	0.066	0.065	10860	5920	8850
全住宅	0.054	0.040	0.048	4790	2130	3640

表6 住宅の工法別ホルムアルデヒド、TVOC濃度

	HCHO(ppm)	TVOC(μg/m³)
在来工法	0.039	923
工業化住宅	0.048	1339
鉄筋コンクリート	0.065	8849

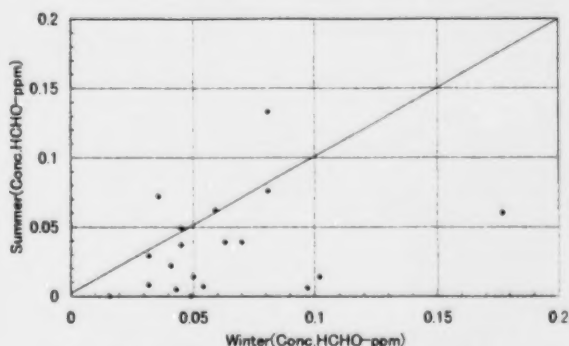


図5 戸建 新築住宅におけるホルムアルデヒド濃度

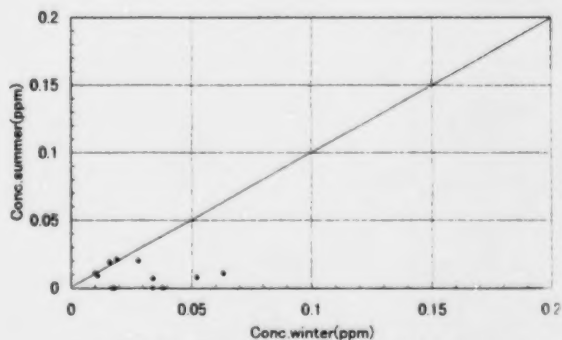


図6 戸建 既築住宅におけるホルムアルデヒド濃度

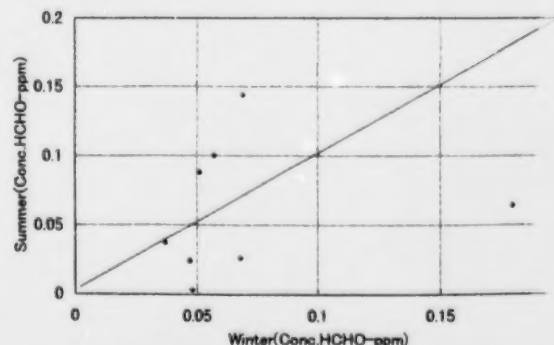


図7 集合新築住宅におけるホルムアルデヒド濃度



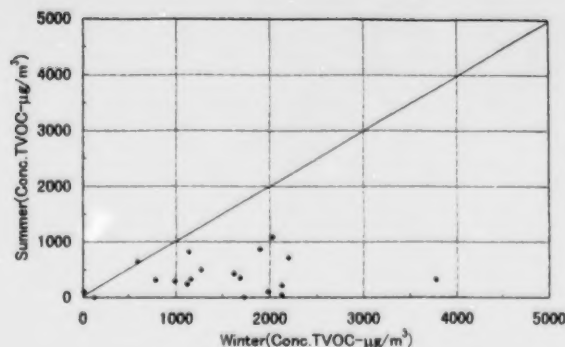


図8 戸建新築住宅におけるTVOC濃度

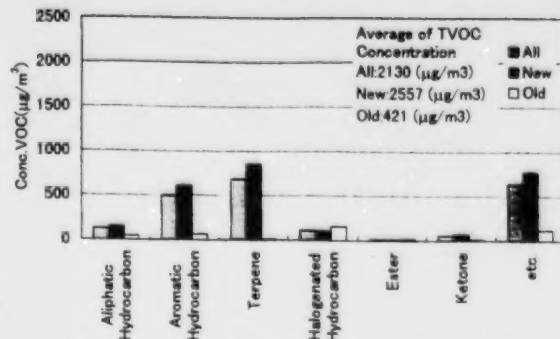


図12 夏のVOC異別濃度

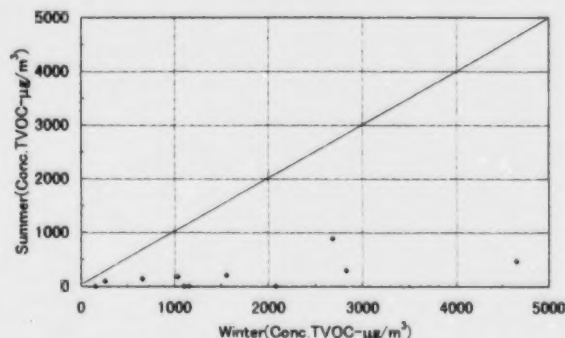


図9 戸建既築住宅におけるTVOC濃度

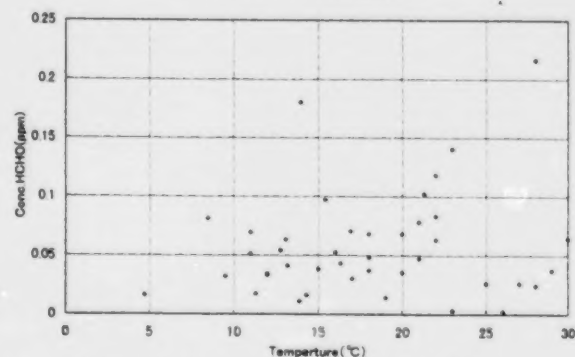


図13 温度とホルムアルデヒド濃度との関係

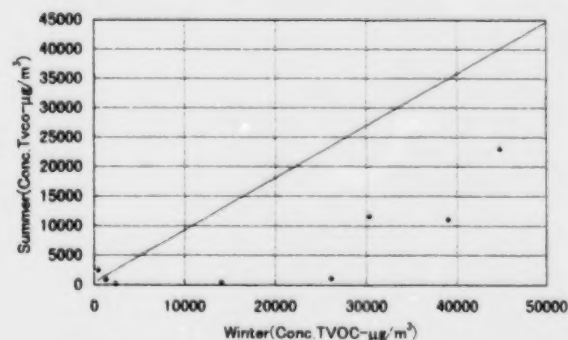


図10 集合新築住宅におけるTVOC濃度

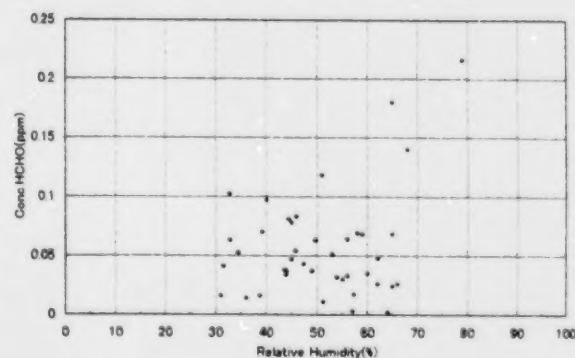


図14 湿度とホルムアルデヒド濃度との関係

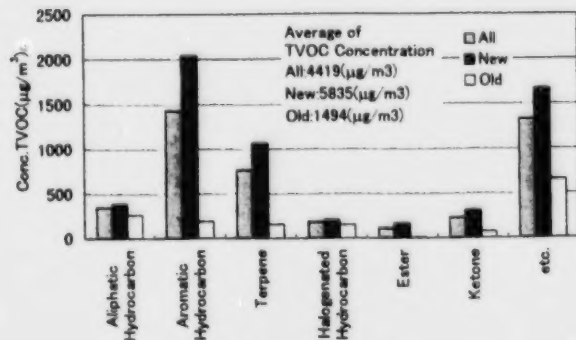


図11 冬のVOC異別濃度

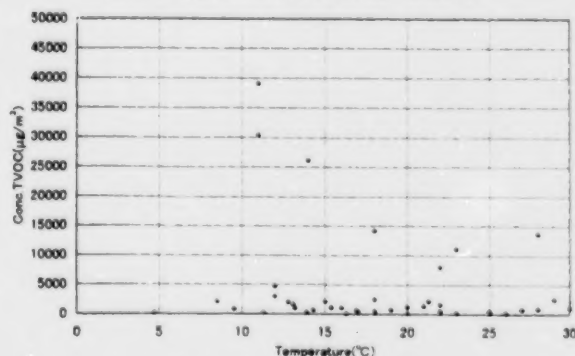


図15 温度とTVOC濃度との関係

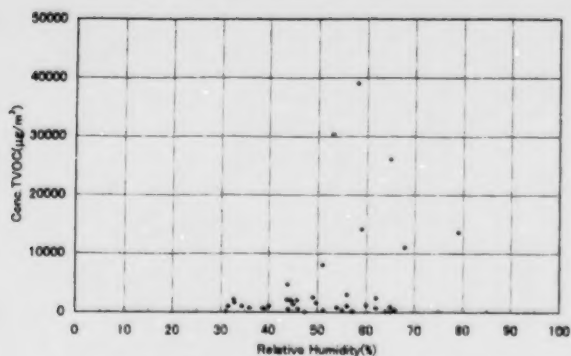


図15 湿度とTVOC濃度との関係

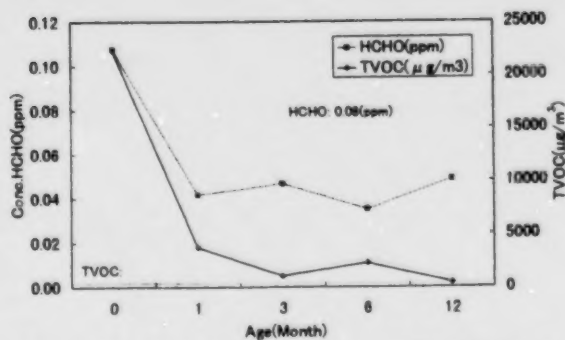


図19 新築時におけるホルムアルデヒド、TVOC濃度の経時変化

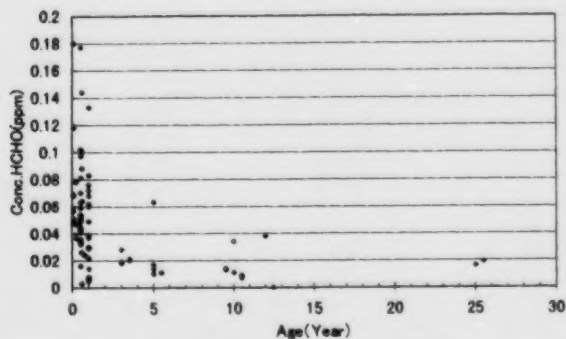


図17 築年数とホルムアルデヒド濃度

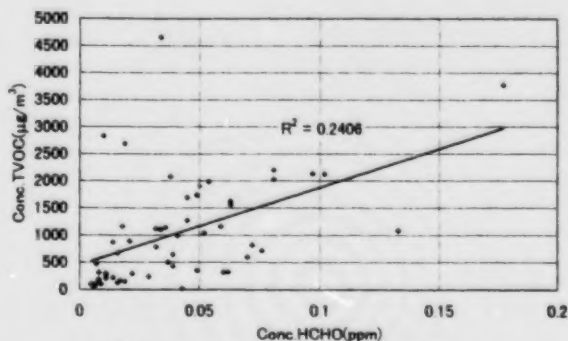


図20 ホルムアルデヒド-TVOC濃度の関係

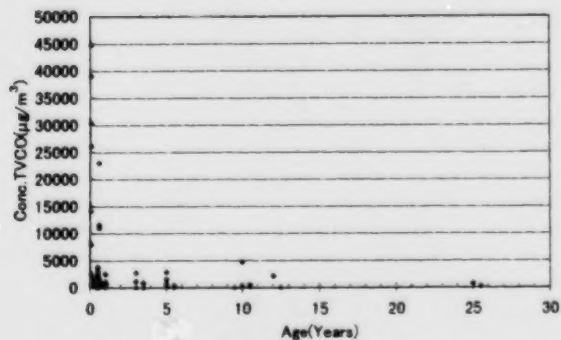


図18 築年数とTVOC濃度

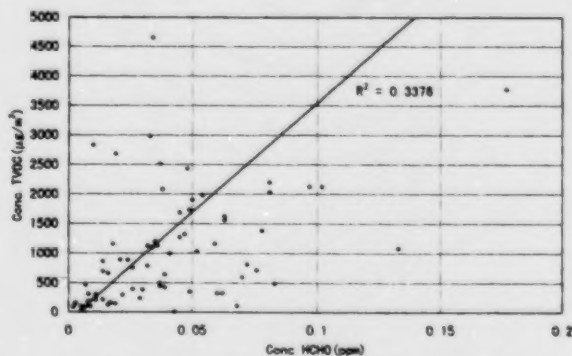


図21 入居後のホルムアルデヒド-TVOC濃度の関係

# THE PROCOS SOLAR HOUSE IN HALIFAX, CANADA

## D. PROCOS

Faculty of Architecture  
Technical University of Nova Scotia  
P.O. Box 1000  
Halifax, N.S. B3J 2X4 Canada

procos ARCHITECTURE & PLANNING  
1974 Prince Arthur Street  
Halifax, N.S. B3H 4H1 Canada  
email: procos@tuns.ca

**ABSTRACT.** Description of a multi-faceted new Solar House in Halifax, Nova Scotia Canada. The lot faces directly south and is unobstructed in that direction. The Procos Solar House has a triangular shape that maximizes southern exposure and allows internal air to be constricted into a convection return loop.

The following components have been or will be installed and will be observed:

- a) Extensive low emissivity windows shielded from summer heat by externally mounted metal sunshades;
- b) Phase Change Materials (PCM's) that enhance thermal storage;
- c) Conventional thermal mass storage media, such as the gypsum-concrete substrate of the radiant floor heating system;
- d) Physical devices for the circulation of warm air, such as convection loops and a solar chimney for passive cooling in the summer;
- e) A Heat Recovery Ventilator for heat retention and air purification.

Overall the design emphasizes the legibility of these components and their presence in the overall spatial perception of the House.

## 1. Introduction

According to a study commissioned by CANMET [1], considerable energy savings are projected in Canada for residential construction to 2010 from high performance windows, integrated mechanical systems and thermal storage options.

The possibility of a thermally autonomous passive solar dwelling -a pipe dream of the energy crises of the 70ies, at least for Canadian latitudes- has come within reach because of a number of new technical developments:

- New forms of glazing that soften the insolation-heat loss tradeoff by decreasing the latter through their surfaces.
- New techniques for making the opaque parts of the building envelope participate in solar gain or cut down on heat loss, sometimes by varying their properties according to the microclimate around them.
- Close electronic control of thermal changes within the dwelling, to ensure the timely storage or release of excess heat, to tie space heating to occupancy and to release the occupants from the tedium of manual control, which had a lot to do with the frontier image and the low acceptance rate of passive solar in the 70ies.
- Heat storage enhancement -and reduction in its size- through the use of phase-change and other materials. [2]

## 2. The Procos Solar House

The Solar House was built on a lot which faces directly south and overlooks an adjacent deep railway cut, ensuring unimpeded solar access. The house proper is of about 200 sq. m. and there is a professional architect's office of a further 100 sq. m. The House has a triangular shape that maximizes southern exposure, a classic configuration in many solar

houses, which in this case allows all non-utility rooms to face south and yields south facing window areas totalling 100 sq.m. Summer overheating is prevented by a system of metal sunshades mounted on the exterior of the House (Figure 1).

## 2.1 WINDOWS AND WALLS: PHASE-CHANGE MATERIALS

While there has over the past twenty years been much built progress in the building envelope, in the matter of heat storage the main technical advance, the development of building products with phase-change ingredients for more effective and compact thermal storage, has not reached commercial demonstration.

There were basically two methods of introducing PCM into the Procos Solar House:

### i. Imbibed into Gypsum Wallboard

Gypsum wall board is the most common method of cladding the interior wall surfaces of a house in North America. In a house such as the Procos Solar House this would involve about 10 tonnes of wallboard, covering about 1000 square meters of wall/ceiling surface. At 10% content, one tonne of PCM distributed in these 10 tonnes of wallboard could theoretically absorb, at about 200 kJ/gr, about 200 MJ of heat daily and provide for close to 15% of the space heating needs of the building for a 115-day heating season. The Procos Solar House had actually been selected by U.S. Gypsum, a major wallboard manufacturer, as one of five North American (and the only Canadian) demonstration sites for this material, before bankruptcy proceedings forced it away from the Project.

### ii. Inserted into a Masonry Wall

The same one tonne could be inserted into a masonry wall, all of which would be in the path of the winter sun, unlike most of the wallboard in a house. This would result in a combination of thermal mass and PCM storage, the latter having about triple the storage capacity of the former. This could be done by mixing in the PCM into the wet concrete of poured-in -place or of concrete block.

In the case of the Procos Solar House the latter method was chosen, because the PCM could be inserted -full strength encapsulated- into the concrete block cavity of the wall. The top Section of Figure 2 shows how that will be done inside a 3 m wide and 5 m high wall that tops up as a bar. The intent is to remove the detachable bar countertop, insert the long packages of pure PCM into the cavity holes and put the top back on. From there, the stored solar heat will be allowed to rise into a plenum above the bar/kitchen, from which it will be drawn into four bedrooms with ordinary bathroom fans. The overall system is outlined in Figure 3. This application has the added advantage that the PCM could at some future time be removed for inspection or replacement. Also, at 15 sq. m., the wall is not obtrusive and still allows for 85 sq. m. of view and enjoyment of the sun, as the top photograph of Figure 2 shows.

## 2.2 WINDOWS AND FLOORS: THERMAL MASS

Actually, at about 3 kWh/sq.m. for a latitude like that of Halifax, the amount of solar energy incident on the glazed parts of the south facade on, say, January 21 is considerably more than could be absorbed by the arrangements in 2.1 above, about 1 GJ daily or about five times the absorptive capacity of the PCM wallboard. This oversupply augurs well for the ability of floors as well as walls to absorb and store heat.

The Procos Solar House achieves this by combining an in-floor warm water space heating system with solar heat storage. This is done by using the substrate in which the piping is embedded, consisting of about 4 cm of a combination of gypsum and concrete, to also store solar heat and release it at night.

### 2.3 PASSIVE AND ACTIVE HEAT RECOVERY

It has already been noted that the north facing right angle corner of the House provides a constriction point for the convection loop that forms as warm air from the southern fenestrated facade rises and then drops as it cools down (see main floor plan in Figure 1). The cooler air thus concentrated gets absorbed by a Heat Recovery Ventilator (HRV), located in that corner in the furnace room of the lowest level. The HRV retains its heat, exhausts it and pre-heats its fresh air replacement. This loop is shown with black arrows in the bottom Section of Figure 2, which also shows the location of the HRV.

### 2.4 PASSIVE COOLING

The bottom section of Figure 2 shows a second set of arrows, white this time, which trace the Passive Cooling air flow around the central load-bearing column of the House and out through the lantern at the top. This lantern, shown in the lower photograph of Figure 2, is central to the system: when it heats up sufficiently in the summer, a bulb thermostat located in it activates a set of operable louvers on the dark side of the lantern in the photo and the hot air inside the house exits. The flow of that air can be accelerated by a Bernouilli effect caused by the air foil on top of the lantern, which can be seen very clearly in the photograph; this air foil is oriented to pick up and compress the prevailing summer breeze, thus creating the effect.

## 3. First Conclusions

The Procos Solar House has already begun proving itself:

- The passive solar heating system proved very effective: as an example, last January there were days when the temperature outside was -15 degrees C and inside 25 degrees C, with the stored heat carrying the house without additional heating well into the night. Conversely, the external sunshades (brise-soleils) admit very little direct sunlight during the hot summer months.
- Passive cooling has also done well. Once, in the middle of summer a construction worker was working on a grate in the lantern when the cooling louvers opened thermostatically; his cries of appreciation could be heard throughout the house!
- The next initiative is the insertion and testing of the Phase Change Material in the concrete block thermal storage wall, as part of a larger Project of demonstrating PCM's for a variety of building products.

## 4. References

- [1] Scanada Consultants Ltd. "Passive Solar Potential in Canada: 1990-2010", Ottawa, March 1990; Executive Summary pp. viii- xiii.
- [2] Allen Penney "Lessons from a Solar Demonstration Project" in Dimitri Procos (Ed.) PLEA 90 Halifax, Halifax , 1990, pp. 147-52.



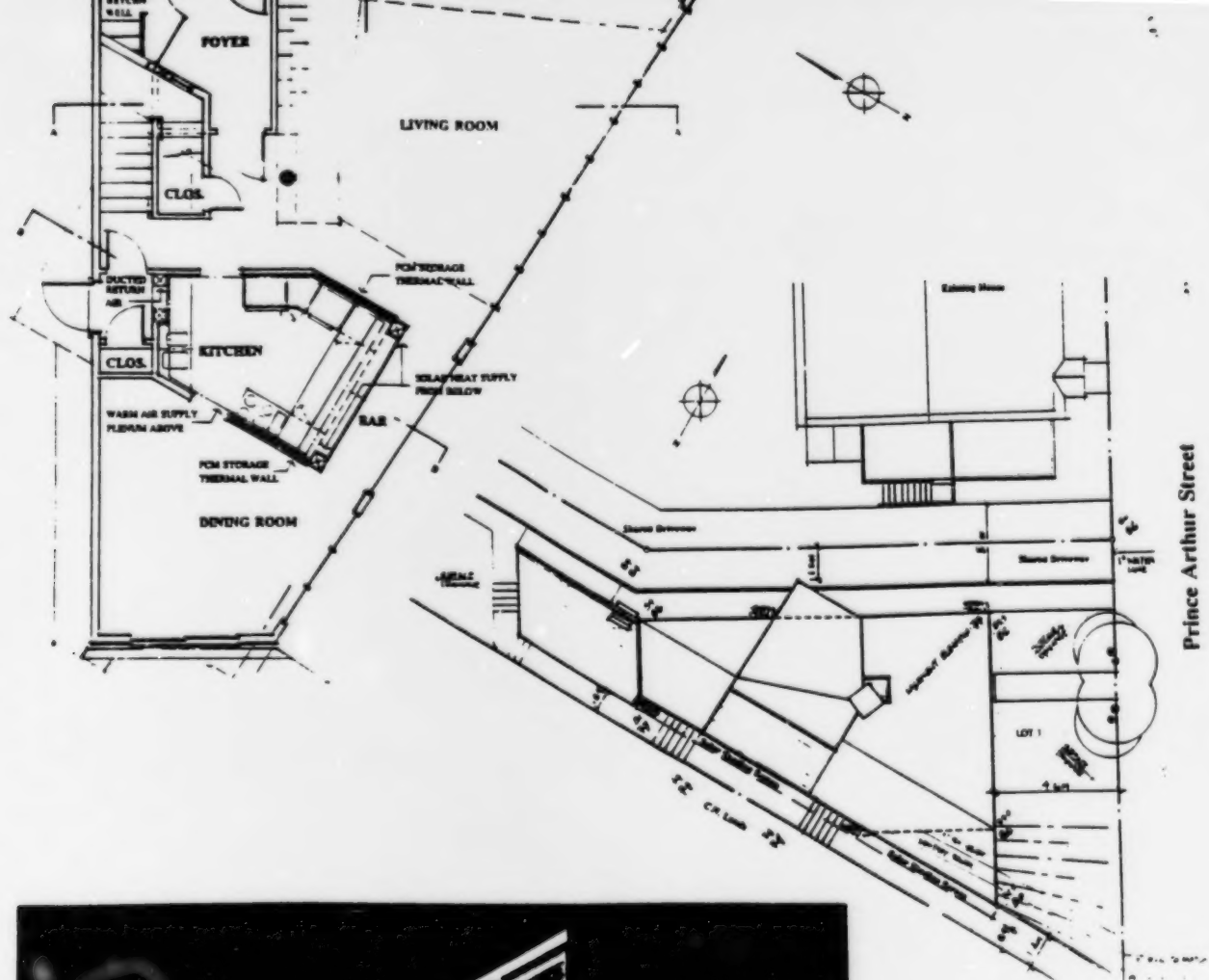


FIGURE 1

DIMITRI PROCOS  
ARCHITECT

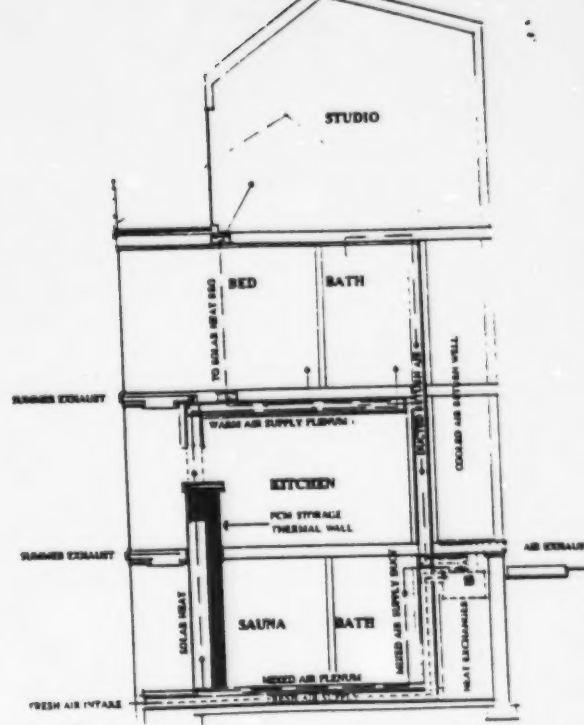
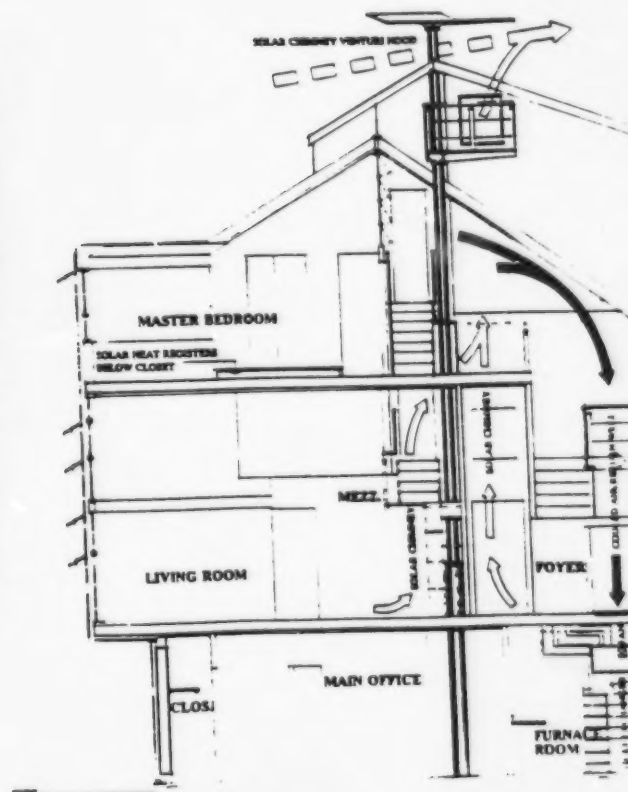
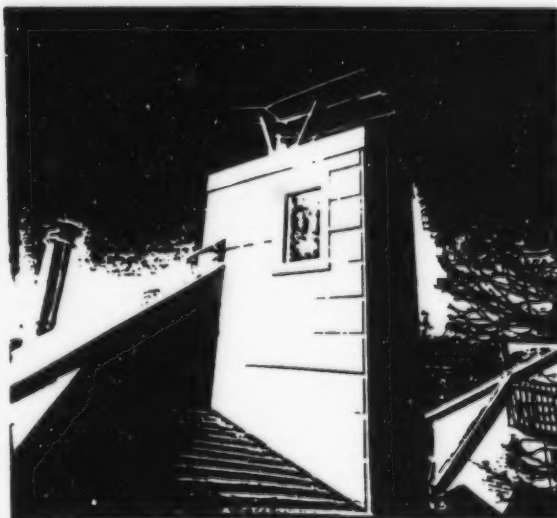


FIGURE 2



TO SOLAR HEAT REG

RETURN AIR  
WELL

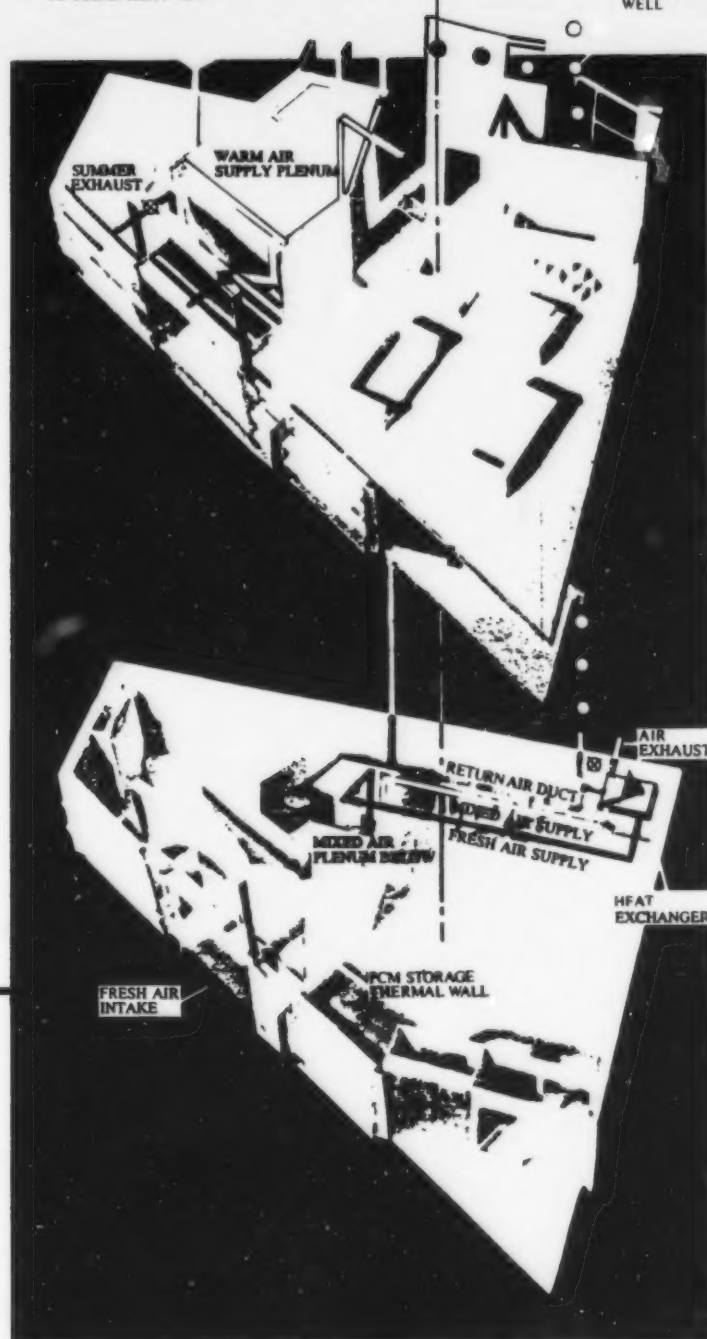


FIGURE 3

## MODEL SYSTEM SCHEMATICS

DIMITRI PROCOS  
ARCHITECT

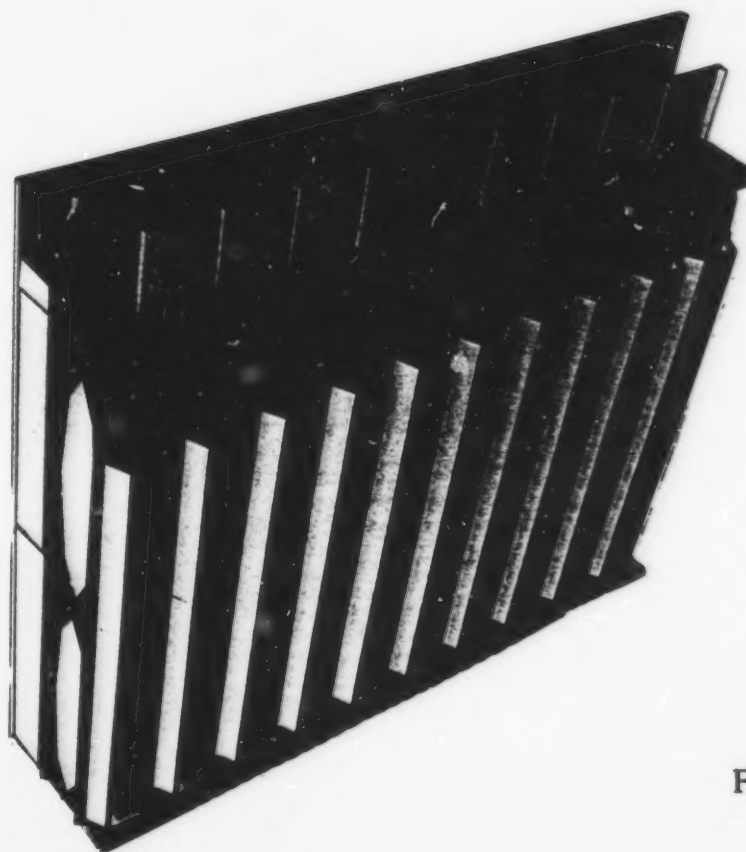
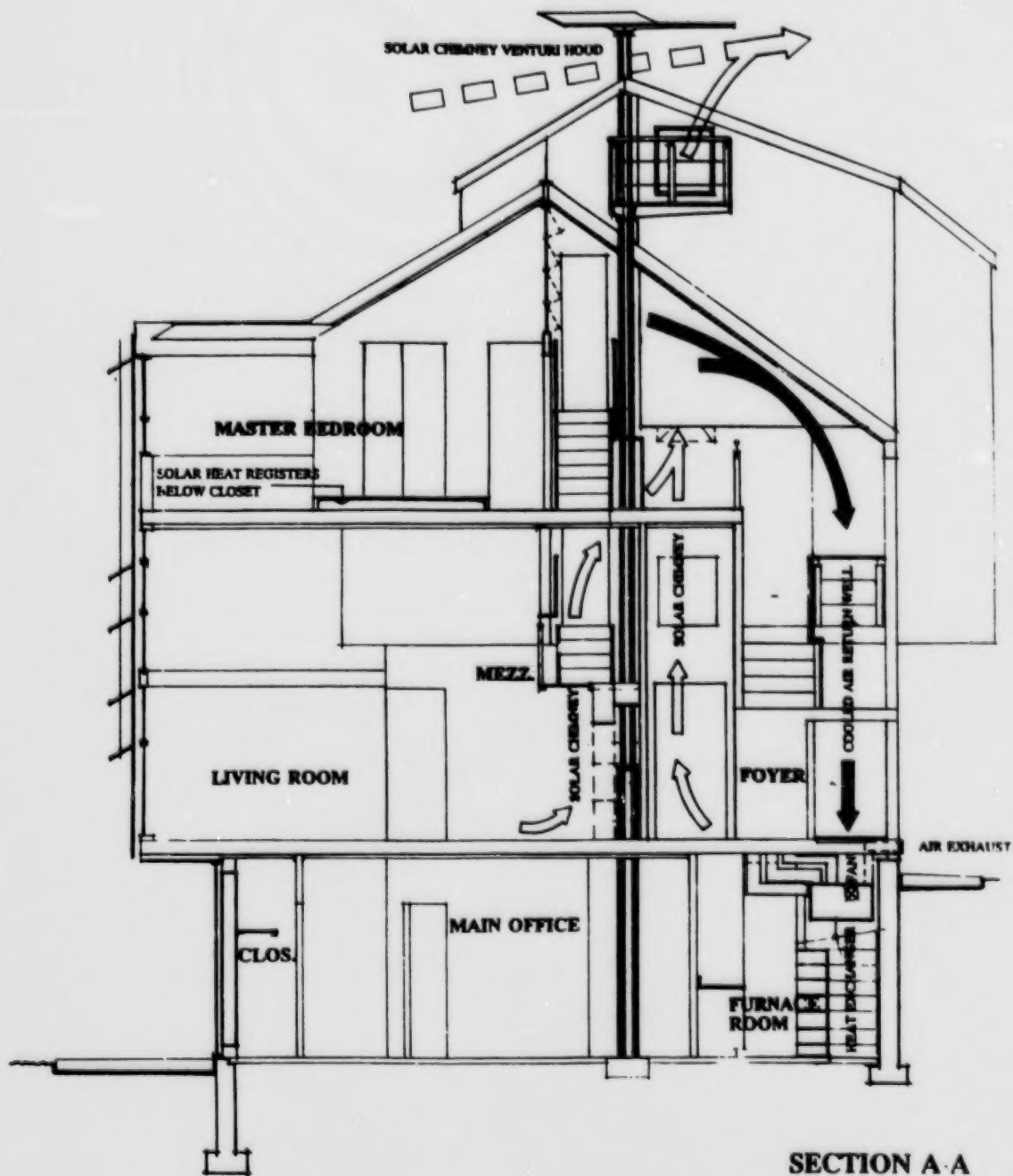
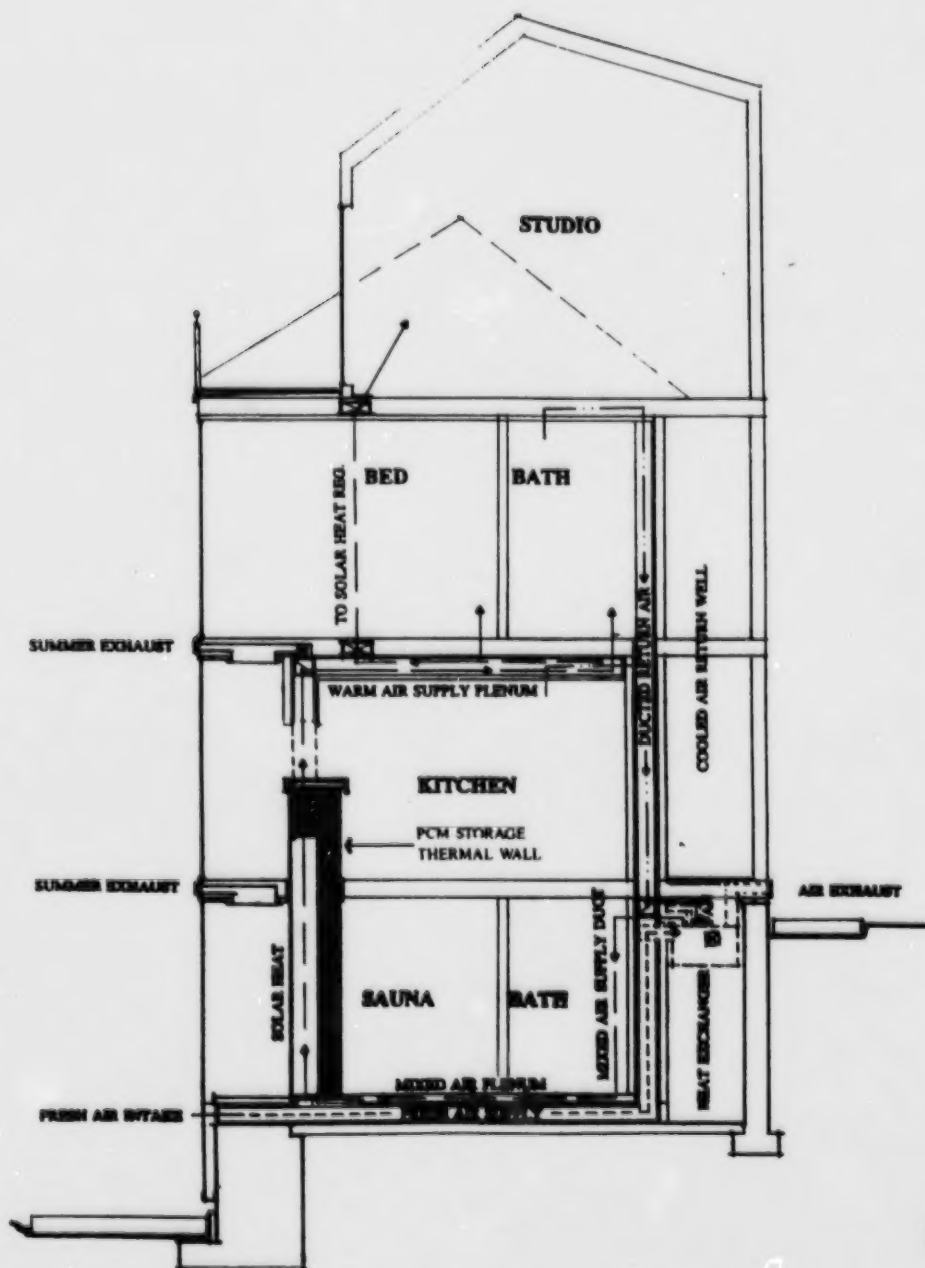


FIGURE 3



SECTION A-A





SECTION B-B

## ハリファックスに建設されたプロコス・ソーラーハウスについて

Dimitri PROCOS  
Technical University of Nova Scotia  
P.O. Box 1000  
Halifax, N.S. B3J 2X4 Canada  
Fax: 1-902-423-6672

procos ARCHITECTURE & PLANNING  
1974 Prince Arthur Street  
Halifax, N.S. B3H 4H1 Canada  
Tel: 1-902-492-2716  
e-mail: [procos@tuns.ca](mailto:procos@tuns.ca)

### 概要

ここでは、様々な建築生産物、建築システムに使用されている潜熱蓄熱材 PCM の用法に関して、カナダ・ハリファックスでおこなわれている展示について述べる。以下のような PCM 使用も含む。

- 太陽の直射を受ける内壁。壁に埋め込んだもの、特殊処理をした壁板、いずれの場合も含む。
- 太陽の直射を受けるレンガ・石材内壁
- 放射熱床暖房システムが組み込まれた床
- 屋根裏
- 透明な断熱材が組み込まれている外壁

コンクリート・ブロック壁に使用した場合の主な展示場は **procos ARCHITECTURE&PLANNING** 提供によるハリファックス・ソーラー・ハウスである。なお 4 種類の独立型ソーラー暖冷房システムがインターネットを通してみられる。ホーム・ページのアドレスは：

<http://www.tuns.ca:80/banderryj/solar.html>

第 2 展示場は工科大学のキャンパス内に、約 3 x 3 x 3 メートルのパビリオンが 2 つあり、ここで、他の PCM の応用についての試験が行われることになっている。

### 1. はじめに

CANMET<sup>(1)</sup> に委託された研究により、2010 年までに、カナダの住宅建設において、高性能窓の使用、組織化された機械的システム、蓄熱技術により、かなりのエネルギーが節減できると予測されている。

過去 20 年、建物外被に関する進歩は著しかったが、蓄熱技術、つまり、より効率的で、コンパクトな蓄熱のための潜熱蓄熱材 PCM を使った建築生産物に関してはまだ、商品として展示するにいたってはいなかった。

### 2. 第 1 展示場 PROCOS ソーラー・ハウス

ソーラー・ハウスは、太陽の光を遮るものがない、真南向きで、隣に鉄道の通る深い谷を見下ろす場所に建てられた。実験用建物は約 200 平方メートルで、その他 100 平方メートルの建築事務所が付随してある。当建物は三角形で、南面を最大限にとった、多くのソーラー・ハウスにみられるクラシックな形の建物である。ユーティリティ以外はすべて南向きで、南向きの窓の総面積は 100 平方メートルである。夏場の過熱を防ぐため、建物の外側に金属日除けを取り付けてある。(図 1)

## 2.1 窓と壁：潜熱蓄熱材 (PCM)

PROCOS ソーラー・ハウスに PCM を挿入する方法は 2 つある。

### i. 石膏ボードの壁材に PCM を挿入する方法

ジブサム (石膏ボード) は、北米で屋内の壁の内張りとして最もよく使われる方法である。PROCOS ソーラー・ハウスのような家屋では約 10 トンが必要である。その 10%、1 トンの PCM を使用すると、1 グラム当たり 200kJ の割合で、200MJ の熱が理論上 1 日に吸収される。これは暖房期間を 115 日として、家屋の暖房に必要なとする熱の 15% 近くにあたる。PROCOS ソーラー・ハウスは、大手の U.S. の石膏ボード製造会社ジブサムによって、北米で 5 指に入る (カナダからは 1 つ) この資材の展示場として選ばれたことがあった。その後、倒産により、取り止めたになったが。

### ii. レンガ・ブロックなどの石材壁に挿入する方法

PROCOS ソーラー・ハウスの場合、PCM は壁材のコンクリー・ブロックの空洞部分に最大限詰め込んである。カウンターのようなトップのある幅 3m 高さ 5m の壁にどのように挿入したかは図 2 に示してある。カウンター・トップを取り外し、純正の PCM の細長いパッケージを空洞部分に挿入し、トップをもとに戻す。蓄えられた太陽熱は台所の上にあるブリナムに上り、そこから普通使われている浴室用の換気ファンによって 4 寝室に送り込まれる。この方法で工事をおこなうと、将来、PCM の検査、交換のために PCM を取り出すことができるという特典がある。また、図 2 の写真に示すように、15 平方メートルという大きさでは、この壁が邪魔になるということもなく、まだ 85 平方メートルの窓から景色、太陽の光が楽しめる。

## 2.2 窓と床：熱容量

ハリファックスの緯度のあたりで、太陽エネルギーが南に面したガラスに入射する量は、 $3\text{kWh/m}^2$  として、その総量は 1 月 21 日に、1 日当たり、約 1GJ、つまり PCM の吸収容量の 5 倍に相当する。有り難いことに壁、床に、この余分の熱を吸収し、蓄える能力がある。

PROCOS ソーラー・ハウスは温水床暖房システムと太陽熱の貯蓄を組み合わせることによって、これを成し遂げた。パイプが埋め込んである基板を使っておこなう。この基板は、約 4cm のジブサムとコンクリートを組み合わせてできており、太陽熱を蓄え、夜それを放出する。

## 2.3 パッシブ・アクティブ 熱回収

家屋の北面の直角になっている隅が、窓のある南面から暖かい空気が上方に上り、冷えるに従って下方に下りてくる対流の狭窄点となっている。(図 1 の見取り図を参照) こうして集められた冷えた空気は最下階のボイラー室の隅にある熱回収換気装置 (HRV) に吸い込まれる。HRV は熱を保持して空気を排出、代わりに入ってきた新鮮な空気を予備加熱する。この空気の流れについては図 2(下) に黒の矢印で示した。また、HRV の位置も同図を参照。

## 2.4 パッシブ 冷房

図 2 にもう一つの矢印がある。この白い矢印は家屋の中央にある、家屋を支える柱の回りを流れ、家屋の上部のランタンから外に出て行くパッシブ冷房の空気の流れを示している。図 2(下) の写真に示してあるこのランタンはシステムの心臓部になる。夏、ランタンが熱くなると、中のサーモスタ

ットが写真のランタンの影の部分にあるルーバーを可動させ、屋内の暑い空気を排出する。この空気の流れは、写真にはっきり写っているランタンの一番上にある、エア・foilによって生ずるベルヌイ効果により加速される。このエア・foilは夏の風を取り入れ、圧縮するような向きになっている。これによってベルヌイ効果が得られる。

## 2. 第2展示場：2つのパビリオン

図3はカナダ、ハリファックスのノヴァスコシア工科大学の敷地内にある第2展示場の配置図である。上の図は敷地内に並んで建てられた2つのパビリオンで、太陽光を妨げるものは何もない。南面に突き出した部分(図では左の方)が太陽の入射光を十分に受け入れる。

本来の目的はPCMの実験であったが、2.1 i に述べたように主にジブサムを使っている PROCOS ソーラー・ハウスには使用できなかった。その他には以下のものがある。

- 2.2 で述べたように余剰熱を貯蓄するために、床暖房システムを組み込んだ床板の中に挿入。
- 外壁システムに挿入。図3(下)の図を参照。

## 3. 今回の実験で得た結論と将来計画

PROCOS ソーラー・ハウスはこれまでの実験により以下のような結果を得た。

- パッシブ太陽熱暖房は非常に効率的である。例として昨年(1996)年の1月、外気の温度 $-15^{\circ}\text{C}$ 、室温 $25^{\circ}\text{C}$ の状態、わざわざ加熱することなく、昼の間蓄えた熱だけで、夜間も家中を暖めることができた。また、外側に取り付けけた日除けのため、暑い夏場に直射日光が入らないで済んだ。
- パッシブ冷房も同様に効率的に機能した。以前、サーモスタットが働いて、冷房用のルーバーが開いたときに、ランタンの格子戸で作業をしていた人が上げた感嘆の聲が、家中に響き渡ったものである。

次にまず計画していることはコンクリート・ブロックの蓄熱壁にPCMを挿入することと、そのテストである。これは色々な建築生産物へのPCMの使用に関する展示計画の一部でもある。

展示パビリオンは次の冬場(この論文は1996年10月に発表したものである)に間に合うように建てる予定である。最初の冬の結果は1997年の春には得られる。一年後にはPROCOSソーラー・ハウスと展示パビリオン両方で夏のテストを済ませ、全ての結果をまとめて発表する予定である。

## 参考文献

1. Scanada Consultants Ltd. "Passive Solar Potential in Canada: 1990-2010", Ottawa, March 1990: Executive Summary pp. viii - xiii.

# Design and Performance (Under Actual Occupancy) of the LBS/TDI Advanced Home

R. Kevin Lee, P.ENG., M.ARCH.

for

Buildings Group  
CANMET Energy Technology Centre  
Natural Resources Canada

## Introduction

Designed and built in 1997, the L.E.E. Building Solutions (LBS)/Technical Dimensions Incorporated (TDI) Advanced Home sits on the bank of the Rideau River in Manotick, just South of Ottawa, as an example of pragmatic advanced residential design and construction. The project was inspired by the Advanced Houses Program of Natural Resources Canada (NRCan), under which 10 demonstration houses were built across the country in 1992/93. These internationally acclaimed houses tested new ideas for energy-efficient, environmentally responsible homes, representing a look into the future of sustainable home construction. Drawing from the technical requirements, ideas and lessons learned from the Advanced Houses Program, the LBS/TDI Advanced Home was designed to be a private-sector, leading-edge, market-viable evolution of these original 10 houses.

The LBS/TDI Advanced Home is now almost two years old, having been through two full winters, one of which included the largest natural disaster in Canadian history--the Ice Storm of 1998. It's design and construction have been put to the test through actual occupancy and climatic conditions, and conversion from oil heating to gas heating is now providing cross-referencing between fuel-types. The house is performing as expected at the design stage and as it was originally modelled; this paper examines the design, construction and actual performance of this innovative project.

## Goal and Objectives of the Advanced Home

The Advanced Home is an environmental initiative seeking to demonstrate the benefits, economics, availability and potential of Advanced Houses and their technologies. Its goal (which it has successfully met) was to design and build a house of superior comfort and quality while saving energy and our environment and providing healthy indoor air quality, all in a cost-effective manner, exemplifying the best that the Canadian housing industry has to offer. The following design objectives were used as the programme for the project:

- **Comfort** is an inherent benefit of well-designed energy-efficient housing. Using advanced technologies in integrated design, go still further to provide superior occupant comfort.
- **Quality:** Through Advanced and R-2000 design, construction, inspections, testing, certification and monitoring, provide a house that is not only intended to be superior but through these processes is proven to be so.
- **Healthy** indoor air quality is to be provided by smart design, material and finish selection, and appropriate mechanical systems, creating a fresh, comfortable, low-pollutant living environment.
- **Affordability** is to be maintained through careful design and cost-effective-technology selection, resulting in a home of superior quality whose monthly costs for ownership (specifically mortgage and energy costs) are no more than those of a conventionally built house.
- **Low Maintenance** materials are required to ease home owners' busy schedules and limit use of chemical cleaners while providing durability and long-life, saving hassle and money.
- **Energy Efficiency** saves money and reduces environmental impact while providing economic security (from volatile energy prices) and stability for home owners. Energy savings pay for a better house. Advanced Home goal: cut energy consumption to two thirds of R-2000 and one half of conventional housing.
- **Environmental Responsibility** must be achieved through smart design and technology selection, limiting impact on the world around us while enhancing the home's quality and performance.
- **Classic Design** is a fundamental component to the marketability of any house and is very important for the perception of Advanced housing; intelligent design and technology application can and should be applied to any housing form to dramatically improve performance, while still providing aesthetic market appeal.

## Advanced Design

The LBS/TDI Advanced Home is Victorian in its exterior appearance, with a Dutch-hip roof line and a modern, open-concept interior. It has about 150 m<sup>2</sup> (1600 sq. ft.) of living space over its ground and second floors and an additional 37 m<sup>2</sup> (400 sq. ft.) of usable space in a finished attic loft. Its interesting roof lines (including that of a wrap-around porch), accented windows with mullion inserts (mimicking double hung units), a corner turret and a detached garage all combine to present an attractive, Victorian, articulated shape and façade while also accommodating many Advanced features.

Although unnoticeable thanks to exterior detailing, the volume of the house is actually quite cubic, maximizing the volume to building-envelope surface area ratio and accordingly limiting heat loss. Being next to the river and situated on



ground with a high water table, the house was built without the common Canadian basement and was instead built on a raised slab-on-grade. The extra space normally gained from a basement is instead found in this house in the finished attic loft, which also houses the mechanical equipment (normally installed in the basement) neatly in its eaves. An oversized double garage (6m x 9m rather than 6m x 6m) also provides extra unheated storage space (many items typically stored in heated Canadian basements need not be kept in a conditioned space). Detaching this garage, beyond keeping with the traditional style of Victorian house architecture, also allows for windows on a side of the house that would normally be occupied by the attached garage—this provides opportunities for windows for daylighting and prevents carbon monoxide from cars from being drawn into the house.

The interior of the Advanced House is an open-concept plan. This serves many practical purposes, including adding perceived spaciousness while allowing for multi-use areas like a small hall passage that also serves as a seating area at a kitchen bar-counter. A large cooking/entertaining kitchen, a family room opening onto a screened-in porch, and an octagonal dining room, all of which open onto each other, provide a flexible space that accommodates multiple activities that would conventionally use these as well as the eliminated formal living room and kitchenette eating-area. With added lifestyle benefits, this space-saving design increases affordability.

The open concept has distinct energy advantages as well. Expansive windows provide significant solar gain, which is distributed easily through the house thanks to the open concept. The low-output gas fireplace in the living room is also able to radiate its heat to the entire ground floor thanks to this design, preventing overheating common to enclosed rooms housing gas fireplaces. This not only increases usability and potential-for-enjoyment of the fireplace, but increases the efficiency of the use of its heat. The stair passage is also open in concept, allowing heat from the fireplace to easily rise to the upper floors. The open concept and open risers in the attic staircase also allow solar heat and light to penetrate to the back (north side) of the house in winter. (Note that the mechanical system distribution network is also designed around distributing solar and fireplace heat.) The open design of the stairways has the added benefit of increasing the perception of spaciousness.

The open concept that eases heat distribution is equally beneficial for cooling in the summertime. The ground floor is easily cooled by opening the double doors to the screened-in porch, the screened garden door and/or any of the many openable windows. Cross ventilation in the attic, as well as a skylight situated for free-cooling, draw hot air up the open stair passage and expel it through the attic for rapid and efficient natural ventilation cooling.

Although the house is oriented to maximize solar gain by skewing its siting on the lot to face the front of the house south, the river inlet vista on the north side of the house was the most desirable view to capture. Accordingly, there is considerable glazing around the entire house—on the south façade for solar gain, on the north façade for capturing views of the water and nature and providing indirect northern lighting, bringing the outdoors into the house. The resultant large expanses of glazing, while providing excellent lighting, also obviously require excellent window technology to ensure comfort and energy efficiency.

An affordable way to increase usable space of a house is to create outdoor living spaces. A 3m x 10m screened-in porch off of the living room becomes the largest room of the house in the summertime, allowing for outdoor eating, lounging and recreation even in rainy weather. A quick-connect gas line allows for barbecuing as well. Part of this space is also slated for enclosure in the future to accommodate expansion of the house as more space is required. Attic trusses over the garage and planned truss spacing to accommodate a staircase are also ready to be completed as additional living space in the future if needed.

Affordable design using all available spaces intelligently must also be applied in planing storage space to ensure usability for modern-day living. In addition to typical closets, the Advanced Home features a walk-in pantry with a chest freezer, two entry hall closets, storage under the stairs, a ground floor mechanical room with storage space, and a master-bedroom walk-in closet and the aforementioned extended garage. Space in the eaves in the attic also offers storage space.

The general architectural design of the Advanced Home therefore provides for an appealing exterior with a functional, usable interior that takes advantage of its setting. Affordable design concepts increase functionality while eliminating wasted space and expanding budgets for other expenditures. Flexible design allows for multi-purpose spaces and adequate storage, while also providing potential for expansion in the future. Energy-efficient and healthy design features integrate seamlessly into this whole package and while unnoticeable to the untrained eye, provide essential components for the house-as-a-system advanced design.

## Slab on Grade

Slab on grade construction was selected for its healthy-house benefits. Proximity to the river and a high water table presented opportunity for potential flooding or leakage in a conventional basement, where damp interior conditions are often found even in more favourable conditions. Damp basements can be sites for mould growth and hence be sources of pollutants in the house. While modern construction with appropriate drainage has largely overcome such problems, slab on grade construction was viewed as the more desirable option for health considerations in this situation. As mentioned previously, space loss was compensated for in other ways.

According to regulations of the Rideau Valley Conservation Authority (having jurisdiction over houses along the river's edge), the slab is raised above grade. 75mm of RSI 2.11 (R12) insulation therefore runs down 1.2m along the inside of the concrete foundation/retaining walls. RSI 2.11 insulation is also used beneath the entire slab and is doubled for the perimeter 0.6m (2 ft.) for a value of RSI 4.22 (R24). All of this insulation is semi-rigid rock wool, a commercial product called Roxul 80 that is an environmental product made from recycled rock slag. Its high density resists compression, while its capacity as a drainage material allows vapour transmission. The high vapour permeance was desired to allow the concrete in the slab to cure into the ground, rather than to the interior of the house, eliminating moisture release into the house and specifically into the wood floors where expansion and subsequent contraction during drying could damage the finish. This concept of making use of the physics of vapour always flowing from warm to cold is novel to slab construction and was the first application of the Roxul product in this fashion—it worked well in this application. It also allowed for the installation of an interior vapour retarder beneath the flooring as per the flooring manufacturer's installation guidelines.

Slab edge insulation was installed in the form of 38mm Type IV extruded polystyrene.

The slab is heated with a radiant floor heating system (see Mechanical Systems below).

## Walls

Previous extensive research in energy-efficient wall systems<sup>1,2,3</sup> indicated that the most cost effective system for the Advanced Home would be a gasketed exterior-insulation system on 2x4 (38mm x 89mm) framing. This gasketed system, under development by (what is now) OC Celfortec Inc., since its first prototyping in the Maison Novtec Advanced House, has shown considerable promise in both performance and cost benefits. Assessment of the system led to detailed investigation of the associated areas in the National Building Code of Canada (NBCC) and resultant recommendations submitted by the author to the NBCC codes committee have since resulted in new wording in the NBCC on the application of such systems.

The Advanced Home wall system uses 2x4 SPF studs, framed in conventional fashion.\* The exterior face of the walls is sheathed with 50mm extruded polystyrene (XPS), using a Celfortec product called CodeBord. Behind all joints of the XPS, standard sill gaskets are stapled to the studs before XPS application; installation of the XPS results in a compression seal of the gaskets at the joints. Although applied by framers (who are not used to dealing with air-sealing details), this system has the advantages of uncompromised application in all weather conditions and the inherent benefits of exterior air barriers such as avoiding outlet-, interior-partition- and header-detailing. Airtight electrical boxes were used as a backup secondary air-sealing detail for added airtightness. Window openings were sealed with low-expansion urethane foam, while plumbing stacks were taped with expanding seals. Final blower-door testing yielded airtightness results of 1.2 ACH at 50 Pascals pressure difference, well below the R-2000 target of 1.5. It was noted through the testing process that homes with slab on grade construction, like the Advanced Home, are "volume-challenged" in that they do not have the added volume of the basement (whose walls and floors are basically airtight) to reduce the airtightness ratio. It is loosely extrapolated then that this house, with a full basement, would have an airtightness level of about 0.8 ACH at 50 Pascals.

Use of the XPS as the air barrier eliminates the need for polyethylene as an air and vapour barrier on the interior. Instead, the Advanced Home uses vapour-barrier primer (Glidden Insulaid) as the interior vapour barrier. Polyethylene was still used, however, in the header spaces as a vapour barrier and in the attic ceiling as the air/vapour barrier. While within the parameters of the 1995 NBCC, the novel aspects of this wall suggested that monitoring of the moisture control characteristics would be beneficial. Wood moisture content of the studs has been acceptably low since construction, and a steady decline in wood moisture content has been observed over the first two years of occupancy, with wood moisture content in monitored members at various locations in the exterior walls now down to about 9 percent.

The drywall used as interior sheathing was Westroc's Ecologo drywall, the only gypsum board product approved by the Environmental Choice Program. Made from recycled gypsum board, this product was specially acquired from Westroc's Toronto plant (Ottawa is normally supplied by the Montreal plant), as the Montreal plant does not currently produce this Ecologo product.

---

\* Note that while energy-efficient/advanced framing practice was identified as being desirable, it was concluded that introducing one innovation (the gasketing system) would be enough for the framing crew to learn. While advanced framing would improve performance and reduce lumber use, the reduction of thermal bridging thanks to the exterior insulation was deemed an adequate first step towards improving framing practice

Glidden's Lifemaster 2000 no-VOC paint was used throughout the house, ensuring this large surface area was painted with pollutant-free finish.

The stud cavities were insulated with rock-wool insulation (Roxul), which has improved thermal and fire resistance compared to standard glass-fibre insulation. Roxul acoustic insulation is also used in some of the interior partitions, including those around the mechanical room, laundry closet and bedrooms.

Polyolefin wrap was used as the weather barrier, taped at the joints. Low cost and low maintenance vinyl siding was used as the exterior finish.

The wall system, with its good airtightness and vapour control, is cost effective and when accounting for thermal bridging provides an insulation level comparable to that of an RSI 4.9 (R28) wall with 200mm (8") deep studs, while improving comfort through reduced drafts and increased interior surface temperature.

## **Roof**

The ceiling of the Advanced Home is insulated with RSI 7.8 (R44) recycled rock wool (Roxul). In some flat sections (beneath the Dutch-hip roof), this is augmented with an additional 50mm (2") of XPS, for a total thermal resistance of R54 (RSI 9.5). The air and vapour barrier in the ceiling is polyethylene. The attic ceiling/roof framing is constructed with open-web rafters, which use small dimension lumber and reduce thermal bridging and material use. Attic trusses over the garage provide accommodation for a future living space at minimal incremental cost.

One conciliation in terms of environmental appropriateness was made in favour of affordability: the roofing finish. While many alternatives were explored, the incremental cost in displacing asphalt shingles was insurmountable, especially given the significant amount of roof surface to be covered. Asphalt shingles remain a large burden on Canadian landfill sites. It is hoped that by selecting a longer term (25 year) asphalt shingle for the Advanced Home that by the time it is time to reshingle the roof there will be proper recycling facilities for the old material.

## **Windows and Doors**

Because of the omnipresence of windows in the housing stock, no advanced technology could have greater impact on reducing the energy consumption of housing in Canada than energy-efficient windows.<sup>4</sup> It goes without saying then that windows were a major consideration in the design of the Advanced Home, especially considering the desire for both southern solar gain and northern exposure to the river view, both resulting in significant glazed area—some 23 percent of the gross exterior wall area is windows and doors (with every door having a window in it). Given these factors, it was decided from the start of the design process that excellent window technology must be used—knowing that energy-efficiency and comfort will not suffer from extensive expanses of windows, the design proceeded to maximize use of the site and its surroundings.

To ensure minimized heat loss and maximum comfort, triple-glazed, low-e, argon windows were selected with insulating spacers and fiberglass frames. The insulated glazing units reduce heat loss and provide a warmer interior surface temperature, reducing both condensation potential and potential for radiant discomfort. The windows were also installed flush with the interior walls, increasing edge-temperature (this approach also eliminated the need for interior returns and exterior brick molds, which were replaced with aluminum trim returns, reducing construction costs). The fiberglass frames, insulated with polystyrene, are not only warmer but are maintenance-free. Compared to vinyl windows, they are more dimensionally stable and can be painted as desired. The one window in the house that is not fiberglass-framed is the oval window on the front façade, as the fiberglass extrusion process does not allow for ovals. This window is aluminum-clad wood with low-e, argon and insulated spacers.

The usable solar gains fraction for the Advanced Home is 30 percent (after accounting for other usable internal gains), a significant contribution considering the Victorian architecture with its wrap-around porch that shades all windows on the ground floor. The home therefore has a good combination of solar gain and summer shading.

Doors in the Advanced Home are insulated steel with low-e, argon, insulated spacer glazing units. A skylight in the attic, part of the free-cooling system, is also low-e, argon, with insulating spacers.

## **Free Heating and Cooling**

Designed to make good use of passive solar heating, the Advanced Home is oriented with southern exposure. Open-concept design distributes heat easily and an open stair passage with open risers allows solar penetration to the north rooms of the house in the winter. An octagonal home office on the second storey boasts windows from south-east to west, providing picturesque views while creating a quasi-atrium. Extensive solar gains in this space are effectively removed and distributed to the rest of the house by a large return-air plenum with its register high on the wall (some 75 percent of the return air for the forced air system can be drawn through this duct). A stale air exhaust for the HRV system also provides heat distribution functionality. Overheating in summer is prevented by interior blinds and a supplemental ceiling fan, if required—use of the blinds prevents overheating effectively.

While not truly free heat, the fireplace is conventionally used as a more aesthetic, decorative appliance whose radiant heat is appreciated as a "cozy" feature. Modern fireplaces, especially gas ones, are typically significantly more efficient than their older counterparts and now provide significant heat to rooms, easily overheating a small enclosed space. Given



these considerations, the smallest-output fireplace from the selected manufacturer was chosen for installation. This "small capacity" unit, however, rated at about 8kW (27MBTUH), basically matches the design heat loss for the house at -25°C. The open concept design of the house makes possible longer use of the unit by preventing overheating in the living room and allowing radiation to the rest of the ground floor. The open stairwell enables convective flow to the upstairs, and strategic location of the ground floor forced-air return allows active distribution of the heat to the rest of the house. The unit is of course sealed combustion, with its only draw back the standing pilot light whose ongoing energy consumption is unnecessary—this can be overcome, however, by turning off the pilot light when the unit is not in use. The fireplace and its passive distribution system successfully maintained the house at comfortable temperatures throughout the Ice Storm of 1998 (and the week-long power outage it caused in Manotick) even as temperatures plummeted below -30°C with the windchill factor.

Several design strategies combine to provide refrigerant-free principal cooling. Architecturally, the ground-floor shading from the wrap-around porch prevents solar overheating, while the slab-on-grade construction provides passive ground cooling. Fitted blinds throughout the house also limit solar gain. The principle free-cooling mechanism, however, is the ventilation cooling system integrated into the house design. The open concept, with several screen doors and many openable windows is combined with an attic with windows for cross-flow and a skylight, enabling cooler nighttime air to quickly displace warm interior air which is exhausted through the attic. This system can be actively augmented by engaging the attic ceiling fan to mechanically draw up the warm air and exhaust it through the skylight—the equivalent of a whole house ventilator. In total, three ceiling-mounted fans can provide convective cooling on demand.

Periods of very hot, very humid weather during Ottawa summers do however preclude at times the use of free-cooling to maintain above average comfort levels. Accordingly, a multi-speed central air-conditioning system was provided for quiet and efficient dehumidification and cooling during hot, humid periods. The system is sized accurately to ensure long enough run-times to provide excellent dehumidification. The energy-recovery ventilator provides fresh ventilation air during such periods; its moisture exchange system limits the intake of humid air by transferring this moisture to the outgoing stale air stream, preventing increase of interior latent loads.

### **Mechanical Systems**

Principle space heating for the Advanced Home is provided by a high-efficiency, condensing, sealed-combustion, gas-fired hot water heater (Lennox CompleteHeat Water Heater). With a combined annual efficiency (CAE) of 90 percent and an output of 100MBTUH (29.3 kW), the heater efficiently provides hot water for a radiant floor system, a fan-coil forced-air system, and for domestic hot water needs.

The slab-on-grade is heated by radiant tubes (in the concrete) through which hot water is passed. This approach to heating provides a comfortable radiant heat that allows air thermostats to be set to lower ambient temperatures.

A small-diameter, high-velocity duct system (Energy Saving Products Inc., ESP) distributes supplemental-heating and cooling (from an ESP fan coil) and ventilation air (from a Venmar Energy Recovery Ventilator [ERV]) to all parts of the house. These two inch (50mm) ducts have their outlets in ceilings and walls for improved air circulation (with the added benefit of not being impeded by furniture placement). Both the fan-coil and the ERV, as well as a high-efficiency air cleaner (Nutech Turbulent Flow Precipitator), are housed in the eaves of the attic loft, saving space. The ERV provides heat and moisture recovery ventilation, delivering warm humidified ventilation air in winter and cool dehumidified ventilation air in summer.

A check flow damper is installed in the return air duct to allow the ERV to distribute air through the ductwork without the aid of the fan-coil fan. This passive damper ensures supply air is delivered through the supply-side ductwork to each room and that it does not bypass this route by going back through the return air plenum. The damper also allows the air cleaner (which has its own small fan) to run without the fan-coil fan on, preventing short circuiting of the air-cleaner air flow. Upon ignition of the fan-coil fan in space heating or cooling modes, negative pressure opens the damper and the entire system functions conventionally. Eliminating the need to run the fan-coil fan in ventilation-only and air-cleaner-only modes saves significant energy (an estimated 2236 kWh of electricity or \$170 per year). The system has been measured for air flows and has proven to be quite effective. Measurements show no significant drops in air flow from the system or increases in power draw from the ERV or air-cleaner motors when the fan-coil fan is not running.

### **Lighting**

Lighting with natural light is available throughout the house during daylight hours, with the vast glazing areas providing for a bright interior. This lighting is primarily soft and indirect on the ground floor, thanks to the overhangs of the porch. Even the walk-in closet in the master bedroom has an east-facing window (thanks to the detached garage) for direct sun-light in the morning while dressing.

Energy-efficient lighting is used throughout the Advanced Home, primarily in the form of compact-fluorescent and low-voltage halogen fixtures. The living room features the latest technology in compact fluorescent lighting: dimmable bulbs, introduced to the market about the same time as the house was completed.

## **Appliances**

Appliances were selected in line with the programme of the project. A front-loading washer was selected for its low water consumption, its ability to eliminate the use of bleach (through high temperature washes) which is detrimental to the septic system, and its high revolution spin cycles that reduce requirements for use of a dryer. Dollar savings from buying a low energy consumption mini-dryer (now possible thanks to reduced requirements for drying) were applied to the more expensive washer, offsetting incremental costs of the improved technology. These are both stacked in a dedicated hall laundry closet on the second floor, saving space in increasing access convenience as the bedrooms are nearby.

Kitchen appliances include an energy-efficient refrigerator (top Energuide rating in its class) and a chest freezer for the pantry (chest freezers have high energy efficiency due to their top-access configuration). The dishwasher was selected both on its Energuide rating and its sound rating, as a quiet machine was sought to complement the open concept interior of the house through which sound can travel easily, at least on the ground floor.

A gas stove was selected for its energy-efficiency and cooking benefits. A high-capacity range-hood exhaust fan was installed to ensure combustion fumes are exhausted efficiently. The importance of non-spillage-susceptible appliances (water heater and fireplace) was proven in the house depressurization test, where running of the range hood fan depressurized the house to 20 Pascals.

## **Recycling and Composting**

Recycling bins are very common in all Ottawa area houses, and composters are becoming more prevalent. One of the keys to increasing these environmentally responsible practices is removing inconvenience: the principle inconvenience for both of these is that the bins are generally kept outside (often in the garage in the case of the recycling bin) and hence required a walk out of the kitchen to be used. To increase ease of use, storage facilities for both are provided directly in the kitchen of the Advanced Home. Two locations are provided for recycle bins: one in a kitchen cabinet, another in the pantry (allowing for on site recycled-material separation). A small compost container is also provided with a carbon filter to allow aerobic decomposition within the sealed container (hence avoiding odours), with a dedicated storage space in a cabinet above the slide-out kitchen garbage bin. An outdoor composter is located near a door off of the kitchen for easily emptying contents of the small container as required.

## **Indoor Air Quality**

Indoor air quality in the Advanced Home was ensured by following three simple strategies: eliminate (pollutant sources); separate (pollutant sources); and ventilate and filtrate.

Elimination of pollutant sources and sinks provides for a healthy indoor environment from the outset. To this end, vinyl sheet flooring was eliminated (a common source of VOCs – volatile organic compounds) as was wall-to-wall carpeting (a pollutant sink that captures pollutants and releases them slowly over time and a VOC source from its backing and underpads). These were replaced with laminate wood flooring made with formaldehyde-free high-density fibreboard (versus medium-density fibreboard products bonded with formaldehyde). This product is commercial-grade and hence is more durable than other grades for longer life-cycle, and is easily maintained with water mopping with simple vinegar-based solution. Bathrooms are floored with ceramic tile, again a durable, no-VOC alternative to vinyl sheet flooring. Stairways are painted with no-VOC paint (rather than being carpeted wall to wall) with the main stair having a carpet runner (with no underpad) that can easily be replaced. The same brand of no-VOC paint (Glidden Lifemaster 2000) is used throughout the house on the walls and ceilings. Maple cabinetry replaces fibreboard/melamine products. Combustion spillage is eliminated by using direct-vent appliances, and condensation problems are eliminated with insulated-glazing units with insulating spacers and fibreglass frames not subject to moisture deterioration.

Pollutants not eliminated are instead separated from the living environment. This included sealing the underside of particleboard countertops and providing an airtight building envelope to keep outdoor pollutants out of the house.

Ventilation and filtration are the final step to providing good indoor air quality. The ERV provides high or low speed continuous or periodic ventilation as desired, with manual controls, pollutant sensors and humidity detectors all used to ensure ventilation use as required. Ductwork to every room ensures adequate ventilation throughout the house. The moisture recovery feature of the system has maintained good humidity levels in the home throughout the year. Filters on the ERV ensure incoming air is adequately filtered, and the high-efficiency air cleaner (Nutech Turbulent Flow Precipitator) ensures that any pollutants, dander, dust or other undesirables in the air are removed. The high-capacity range hood removes combustion and cooking fumes from the stove.

## **Performance**

Through nearly two years of occupancy, the Advanced Home is performing as designed, meeting its energy consumption goals. Following the trend of R-2000 (which reduces energy consumption to two thirds of that of conventional housing), the Advanced Home reduces energy consumption to two thirds of that of R-2000. The Advanced Home therefore uses less than half of the energy of a conventional home.



Figure 1 shows the energy consumption comparison for the house built to conventional and R-2000 levels and as-built to its Advanced Home standards. The Advanced Home data is corrected for elimination of the monitoring system. As can be seen, heating, ventilation and domestic hot water (DHW) consumption are reduced to well below two-thirds of R-2000 levels. Lights and appliances consumption is reduced compared to R-2000 and conventional levels of performance, although not to the same degree; this is due to home-office energy consumption and reduced occupancy (increasing occupancy to the typical 4 person household will increase lights and appliances consumption and increase savings as compared to typical lights and appliances use). Drastic energy consumption reduction is seen in cooling

performance; this is primarily attributed to the success of the free cooling system; success in humidity control through air tightness and moisture rejection by the ERV is also a factor.

Close agreement has been found between simulation results and actual energy consumption for the Advanced Home, both in during the oil-heating- and later gas-heating-periods. Variation between real and simulated results is within 2.5 percent, showing excellent agreement between actual performance and design detailing using the HOT2000 software. It should be noted that the simulated results do use actual measured baseloads, eliminating some lifestyle factors and phantom-load discrepancies which are common sources of variation in typical simulations. Both as a design tool and as a reconciliation tool, the simulation software proves to be a valuable asset, demonstrating excellent and reliable accuracy.

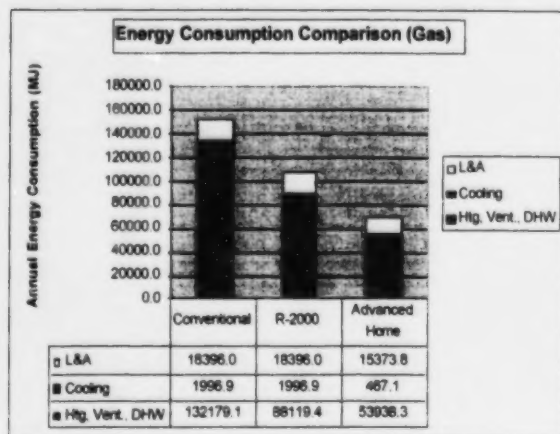


Figure 1. Energy Consumption Comparison

### Cost Effectiveness

The typical method of assessment for cost effectiveness in energy-efficient housing is simple payback: how long will it take to recover through energy savings the money invested in the upgrade? This simplistic approach does not truly measure cost effectiveness, as it does not account for time value of money or actual cash flow, nor does it reflect in any meaningful way the issues of affordability in today's marketplace. While most in the business of selling and buying houses focus on selling prices when promoting or assessing affordability, the true measure of affordability is the monthly cost of home ownership.<sup>5</sup> All affordability indicators, as well as affordability assessments by financial institutions issuing mortgages, are based on these monthly costs to own a house: specifically principle and interest on the mortgage, taxes, and energy (PITE).<sup>6</sup>

Goals for cost effectiveness in the Advanced Home were therefore based on monthly cash flow. Energy-efficient upgrades were selected largely based on their cost effectiveness in terms of monthly payments, where increased mortgage payments could be offset by monthly savings in energy bills. In so doing, a more energy-efficient house, with all of the comfort, quality, durability, healthy, quiet, bright and other benefits could be owned for the same price as a conventional house, accordingly having no impact on affordability. Indeed, if energy prices rise significantly, the home will cost less to own than its conventional counterparts.

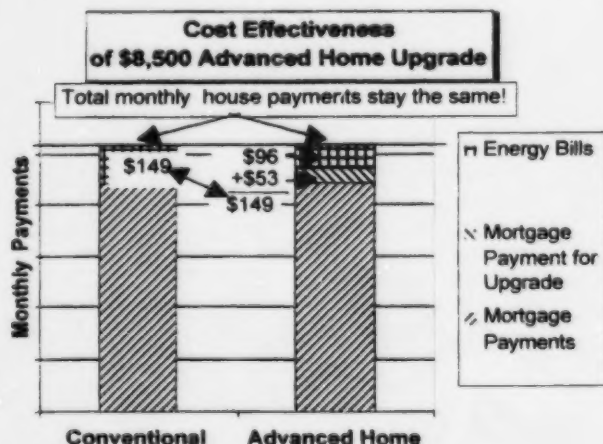


Figure 2. Energy Consumption Comparison

Figure 2 illustrates cost effectiveness of the energy-efficient upgrades of the Advanced Home. By investing \$8,500 in energy-efficient upgrades, the Advanced Home reduced monthly energy bills by \$640 annually. These savings are enough to offset the monthly increase in mortgage costs for the additional \$8,500 upgrade. As a result, the house is more energy-efficient, comfortable, durable, bright and healthy but is no more expensive to own than a conventional house. It should be noted that some features, such as those selected for indoor air quality, general quality, maintenance-free benefits,

comfort or other improvements were added at additional costs. These, however, were upgrades warranted by the owners to be worthwhile in terms of costs and benefits in the normal marketplace situation.

## Conclusions

The LBS/TDI Advanced Home demonstrates that it is both feasible and desirable to cost-effectively build homes that perform significantly better than their conventional counterparts, saving some 50 percent of the energy, while providing an affordable, more healthy and environmentally-responsible dwelling that offers improved comfort and other lifestyle benefits. It demonstrates that with proper understanding of occupancy variables, design simulation (using HOT2000) can accurately model actual energy performance, proving valuable both as a design and reconciliation tool. Showcasing environmental and healthy products, the house demonstrates that there is a wide range of Canadian building technologies that can contribute to improved housing sustainability. Perhaps most importantly, the Advanced Home shows that this can all be done in a cost-effective manner and that there are many, many benefits of advanced housing that can be easily and successfully marketed and sold in today's marketplace.

---

<sup>1</sup> Lee, R. Kevin (1996). Cost Effectiveness Study to the Celforest Insulative Exterior Air-Barrier System. Report submitted with Scanada Consultants to Celfort Construction Materials Inc., Valleyfield, Que.

<sup>2</sup> Lee, R. Kevin (1996). "Advanced House Air Barrier Systems", Energy Efficient Building Association Excellence in Building Conference Proceedings 1996. Energy Efficient Building Association, Minneapolis, MN.

<sup>3</sup> Scanada Consultants (1995). Advanced House Technologies Assessments. Natural Resources Canada, Ottawa, Ont.

<sup>4</sup> ibid.

<sup>5</sup> Lee, R. Kevin (1995). Advanced Energy Efficient Upgrading for Affordable Homes in Canada. Master's thesis. McGill University, Montreal, Quebec.

<sup>6</sup> Lee, R. Kevin (1995). R-2000 and Advanced House Energy-Efficient Upgrades for Affordable Homes in Canada. Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario.

# LBS/TDI 先進住宅の設計と居住性能試験

R. Kevin Lee, P.ENG., M.ARCH.

CANMET Energy Technology Centre, Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 13<sup>th</sup> Floor, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 Canada

## 1. はじめに

実用的先進住宅の実例として、1997年にL.E.E. Building Solutions (LBS)/Technical Dimensions Incorporated (TDI)による先進住宅がオタワ南部 Manotick のリドー川岸に設計・建築された。本プロジェクトはカナダ天然資源省(NRCan)の先進住宅プログラムによるもので、1992～1993年には全国で10軒のモデルハウスが建築された。これらの住宅は、エネルギー効率のよい環境保全対応住宅という新しい概念に基づいており、耐久型住宅建設の将来を目指して世界的な賞賛を得た。先進住宅プログラムの技術的要求事項、概念、教訓を基に、LBS/TDI先進住宅は先の10軒の先進住宅の中でも、特に斬新で民間部門・市場への適用といった特長を持つ進歩的な住宅として設計された。

LBS/TDI 先進住宅は、竣功からほぼ2年が経過し、既に2回越冬したことになる。特に、カナダ史上最悪の1998年のアイスストーム(着氷性暴風雨)災害を経験しており、その建築設計と技術は、実際に居住者が生活する条件の下で試験されている。なお、暖房用燃料にガスを使用したことで石油との比較参照モデルとなる。この住宅は設計段階の計画、および当初の基本計画通りに機能している。本論文では、この革新的プロジェクトの設計、建築、および実際の性能について検討する。

## 2. 先進住宅の目的

先進住宅は、経済性、実用性、可能性、技術、環境に関する主導的プログラムである。その目標は(無事達成されており)、省エネルギーと環境保全への対策はもちろんのこと、健康的な室内空気質、快適性、品質においてカナダ住宅産業界で最高のものである。本プロジェクトは、次の設計指針に従い実施される。

- **快適性**はエネルギー効率に優れた住宅に備わる利点である。総合設計に先進技術を採用することで、居住者により良い快適性を提供することが可能となる。
- 先進住宅は優れた住宅を提案するだけでなく、設計・建築・検査・試験・認定・監視(基本的に R-2000 と同じ)を行うことによって、**高品質**が立証された住宅を提供する。
- 高性能設計、建材・仕上材の選択、適切な機械システムによって、**健康な室内空気質**を維持し、新鮮、快適、かつ汚染物質の少ない生活環境を作り上げる。
- **低コスト化**は、木目細かな設計と費用効果のある技術選択により可能となる。既存建築住宅よりも月々の維持管理費(具体的には住宅ローンと光熱費)が少なく、しかも品質の高い住宅を提供することができる。
- **メンテナンスの必要性が少ない**建材を使うことによって、居住者の清掃・補修等の時間を省き、また化学清掃剤の使用を削減する。耐久性および耐用年数に優れ、手間と費用が節減される。
- 高性能設計や技術選択によって、住宅の品質と性能を向上させ、周囲環境に与える負荷を制限し、**環境保全**に努める。

- エネルギーの効率化は、維持管理費を節減し、環境に与える影響を少なくするだけでなく、経済的な安定性に優れ(エネルギー価格は変動しやすいことから)住宅所有者に安心を与える。先進住宅の目標は、エネルギー消費量を R-2000 住宅の 2/3、既存住宅の半分に削減することである。
- 伝統的設計は、住宅の市場性を考慮する際に、先進住宅の概念にとって非常に重要な基本要素となる。躍進的に住宅の性能を向上するには、高度情報化への対応設計や技術の応用が必要である反面、美観による魅力も欠かせることはできない。

### 3. 先進設計

LBS/TDI 先進住宅の外観はビクトリア様式、屋根の形状はダッチヒップ(オランダ式屋根)、そしてインテリアは近代的なオープンスペース方式を採用している。1 階と 2 階を合わせた居住面積は約 150 m<sup>2</sup> (1600 sq. ft.)で、別途屋根裏ロフトに使用可能な面積 37 m<sup>2</sup> (400 sq. ft.)がある。屋根の形は(カーブしたポーチの形も含め)ユニークで、窓にはアクセントとして組子のはめ込まれ(上げ下げ窓の模造)ている。ガレージは住宅から独立し、角の小塔、調和のとれた形状やファサードなど、全体的にビクトリア様式の魅力的な雰囲気を漂わせながらも、いたるところに先進技術が駆使されている。

外装のために目立ちにくい、実際の家屋は立方的で、外被表面積に対する体積を最大化するとともに、熱損失を抑えている。川に隣接している上に地下水面が高い土地にあることから、この先進住宅はカナダの一般的な住宅地下室の代わりに、一段高くした接地床を使っている。通常、地下室があると使用可能面積は増加するが、この住宅には屋根裏ロフトが設けられ、機械設備は底にきれいに納められている(通常の住宅は地下室にある)。また、特大の 2 台用ガレージ(通常の 6m×6m に比べ、6m×9m)は、暖房設備のない保管場所として使用できる(カナダの住宅地下室に一般的に保存される物の多くは、温度調節の必要がない)。ガレージを独立させたのは、ビクトリア風住宅の伝統的建築様式を守るためだけでなく、家屋側面に窓を設けることができるためである。窓を通じてより多くの日射を受け、車から排出される一酸化炭素が住居内に入ることを防ぐ。通常のガレージ付き住宅の場合は不可能である。

先進住宅のインテリアはオープンスペース設計になっている。これは非常に実用的で、室内を広く見せる上に、台所のカウンターに椅子を置くなど、多目的にスペースを使用することができる。調理場・娯楽室のある広々とした台所、網戸の付いたポーチまで広がった居間、八角形のダイニングルーム、これらすべてが壁で仕切られていないため、スペースを柔軟に多目的に使用することができ、従来どおり正式な居間や簡易台所の食堂としても使うことができる。生活様式の多様化に対応できるこの省スペース設計は、低コスト化につながる。

また、オープンスペース方式にはエネルギー対策上の利点も多い。広い窓は太陽光を十分に吸収し、吸収された熱と光はオープンスペース方式によって室内全体に拡散する。さらに、この設計法を採用した結果、居間の低出力ガス暖炉だけで 1 階全体を暖房することができ、密閉式住居のガス暖炉に共通するような過剰暖房になることもない。このことは、暖炉の有用性向上や潜在的な楽しみにつながるだけでなく、熱の有効利用にもなる。階段通路にもオープンスペース方式が適用され、暖炉から発生する暖気が 2 階に上昇しやすい設計になっている。オープンスペース方式と屋根裏階段室の開放式蹴込板の使用により、冬でも住居の裏側(北側)に太陽光・太陽熱を通すことができる(機械システム分配ネットワークでも太陽熱と暖炉の熱を家屋内に拡散できるように設計されている)。さらに、オープンな階段は、広々とした感じを与えるという利点もある。

オープンスペース方式は暖房と同様、夏期の冷房効果の向上にも有効である。1 階は、網戸付きポーチの二重扉、庭出入り口の網戸付き扉、多数ある窓のいくつかを開けるだけで簡単に涼房できる。屋根裏の同時換気はもちろん、外気冷房のために設けられた天窓が、開放された階段通路へと熱気を吸い上げ、自然換気冷却によって屋根裏から屋外へすばやく、効果的に熱気を排出する。

この先進住宅は太陽エネルギーを最大限に活用できるよう南向きに建てられているが、北側は川の入り江に面しており抜群の眺めを有す。したがって、建物全体に大量の窓ガラスが使用されており、南側ファサードは太陽エネルギーを受け、北側ファサードは川と自然の景色を捉えて間接日射を受けるため、自然と一体化された室内環境を実現している。多くの窓ガラスを用いた結果、昼光照明効果は向上したが、快適性とエネルギー効率を確保するために優れた窓技術が必要とされた。

コストを抑えて住居の使用可能面積を増やすには、外に居住面積を設ける方法がある。夏季は、居間のすぐ外にある 3m×10m の網戸付きポーチが最大の部屋になり、雨の日でも庭で食事や余暇を楽しむことができる。簡易ガス設備を備えており、バーベキューもできる。このスペースの一部は、将来さらに増築する必要が生じた場合に備えて、スレート材で覆われている。さらに居住面積が必要になる場合は、ガレージ上部の屋根裏トラスと階段室設置用に設計されたトラス空間を利用することもできる。

使用可能面積をすべて有効に利用し、しかも低コスト設計を実現するには、現代の生活環境における利便性を考慮して収納場所を確保しなければならない。この先進住宅には、一般的なクローゼットに加えて、小型冷凍庫を備え起立して入れるウォークインパントリー、玄関の 2 台のクローゼット、階段下収納、収納スペースのある 1 階機械室、主寝室のウォークインクローゼット、そして前述の大型ガレージがある。さらに、屋根裏室の底も収納スペースとして利用できる。

先進住宅は、魅力的な外観と設計の工夫により機能的で使いやすいものである。低コスト設計の概念は、機能性を向上させる上、無駄なスペースをなくし、他の費用に予算を割り当てることを可能にする。柔軟な設計により、スペースを多目的に使用でき、適切な収納場所を確保できるだけでなく、将来は増築も可能である。省エネルギーで健康的な設計が当該の先進住宅全体の統一された特長であり、専門家でないといわかりにくい、システム住宅的な先進設計が要求される。

#### 4. 接地床

健康住宅としての利点を考慮して、接地床工事が選択された。既存の地下室の場合、住居が川に近接したり、地下水面が高いと、洪水や漏水の可能性があり、またそれより好条件であっても室内が湿った状態になることが多い。湿気の多い地下室にはカビが発生するため、家屋内の汚染物質排出源となる。排水設備の整った近代建築のおかげで、この問題の大部分は克服されているが、このような状況下における健康上の配慮から、接地床工事を適用することが望ましいと判断した。先述のとおり、居住面積の損失は別の方法で補われた。

リドー川流域環境保全当局(リドー川流域住宅の行政管轄体)は、スラブを地盤面よりも高い位置に設置するよう規制している。したがって、幅 75mm の RSI 2.11 (R12)断熱材が、コンクリート基礎・擁壁内に 1.2m使用されている。また、RSI 2.11 断熱材はスラブ全体の下にも使われ、周囲 0.6m (2 ft.)については二重に施工し、RSI 4.22 (R24)の断熱レベルと同じにした。断熱材はすべて半硬質ロックウールで、市販の Roxul 80 という再生ロックスラグから作られた環境に優しい製品を採用している。密度が高いため耐圧縮性がある上に、排水性材質として蒸気



透過能力も備えている。スラブに使われるコンクリートを住居内部ではなく、地盤側で養生させるには、蒸気透過率が高いことが望ましい。そうすれば、住居、特に木質床材への湿気の侵入や、膨張後の乾燥収縮による仕上材の損傷を防ぐことができる。常に暖気から冷気に移動する蒸気の物理的特性をスラブ工事に応用するという概念は新しく、Roxul 80 のこのような適用例は初めてであったが成功を収めた。さらに、床材製造業者の取付け基準に従って、床材の下に防湿内装材を使用した。

スラブの外縁には、第 4 種 38mm 押出成形ポリスチレン断熱材を取り付けた。なお、スラブは放射床暖房システムを採用している(下記の「機械システム」の項参照)。

## 5. 外壁

先に行われたエネルギー効率に優れた壁体システムに関する広範な研究<sup>1), 2), 3)</sup>により、先進住宅において最も費用効果のよいシステムは、2×4(38mm x 89mm)枠組壁工法にパッキンを施した外装断熱工法であると確認されている。このパッキン工法は、OC Celfortec 社(現社名)が開発し、Maison Novtec 社の先進住宅に採用された最初の試作品以来、性能と費用の両面において大変有望な存在である。当該システムの評価として、カナダ国家建築基準法規(NBCC)関連分野の詳細調査が行われ、調査後 NBCC 法規作成委員会が提出した推薦報告書に基づいて、このようなシステムに関する NBCC の記述が更新された。

先進住宅の壁体システムには、従来の SPF 材の間柱(2×4)が使用されている\*。外壁面は Celfortec 社製 CodeBord という 50mm の押出成形ポリスチレン(XPS)下地板で覆われている。XPS 下地板の目地の後ろには、XPS を施す前に、標準基礎パッキンが間柱に止め付けられ、XPS 下地板の取付けによって目地でパッキンが圧縮密封される。(空気密封作業にあまり精通していない)枠組み作業員が施工しても、このシステムは全天候に完全に適用できる利点があり、外装防風層本来の利点もある。なお、気密性を向上させるため、気密電気機器が使用された。窓開口部は、低膨張性ウレタンフォームで密閉し、給排水設備の排気筒には水膨張性シール材を貼付した。差圧 50 Pa のブロワー試験(気密性能試験)結果は、R-2000 の目標値である 1.5 ACH よりもかなり低い 1.2 ACH を示した。この試験プロセスを通じて、先進住宅などの接地床建築住宅は、(基本的に壁や床が気密である)地下室のような容量がないため、気密性能を向上させるには「容量的に不利な立場」にあることがわかった。もしもこの家屋に完全な地下室があったとすると、差圧 50 Pa において約 0.8 ACH の気密性を示したであろうと概括的に推定できる。

防風層に XPS を用いることによって、内装の防湿気密層にポリエチレンを使う必要が失せた。代わりに、先進住宅は内装の防湿層として、防湿層下塗り塗料(ICI-Glidden 社製 Insulaid)を使用している。ただし、ヘッダースペースには防湿層として、また屋根裏の天井には防湿気密層としてポリエチレンが使用された。1995 年度版 NBCC のパラメーターの範囲内ではあるが、この壁体について湿度特性を測定した結果、木質間柱の含水率は建築当初より低い許容範囲を示した。入居後 2 年間で着実な減少が見られ、外壁の様々な箇所でモニターした木質部材の含水率は約 9% まで低下した。

---

\*省エネルギー・先進枠組み施工法は、1 件の技術革新案(パッキン工法)を枠組み作業員が修得するのみで可能となる。先進枠組み技術は、住宅性能の向上と材木使用量の削減に貢献する。外装断熱材による熱橋対策は枠組み施工改善として適切である。

内装下地板のドライウォールには、Environmental Choice Program(環境選択プログラム)の認定製品である Westroc 社の Ecologo drywall(再生石膏ボード)を使用した。現在、Westroc 社のモントリオール工場ではエコマーク商品が生産されていないため(オタワは通常モントリオール工場から納品される)、トロント工場から特別に仕入れた。

また、家屋全体に ICI-Glidden 社の Lifemaster 2000 no-VOC paint(揮発性有機化合物を含まない塗料)を使用し、広い表面積に汚染物質を排出しない仕上材塗装を施した。

間柱の空隙にロックウール断熱材(Roxul)を充填することにより、グラスウール断熱材に比べて耐熱性・耐火性を向上させた。また、機械室、洗濯機収納庫、寝室などの内装仕切りには、Roxul 防音材を使用した。

防風層としてポリオレフィンラップを目地に貼付した。また、外装仕上げに低コスト・低メンテナンスのビニールサイディング材を使用した。

高気密で湿度制御に優れる壁体システムは、一方では費用効果もある。熱橋を防止したことで、200mm(8 インチ)の特大間柱を施工した RSI 4.9(R28)壁と同レベルの断熱性がある。さらに、隙間風を防ぎ、内部表面温度が上昇することで快適性が向上する。

## 6. 屋根

先進住宅の天井は、断熱材として RSI 7.8(R44)再生ロックウール(Roxul)が用いられている。平面(オランダ式屋根の下部)では、50mm(2 インチ)の XPS が補強材として使用されており、R54(RSI 9.5)の断熱性を実現している。天井の防湿気密層はポリエチレン製である。屋根裏天井・屋根にはオープンウェブ梁を使い、寸法の小さい材木を用いることで熱橋と資材の使用量を削減した。ガレージ上部の屋根裏トラスは、最小限のコストで居室に改築することができる。

屋根の仕上げには、環境保護の観点からは望ましくないが、コストを重視した妥協策が取られた。アスファルトシングルの代替品もかなり検討されたが、その費用は特に屋根の広大な作業表面積を考慮すると多額になる。アスファルトシングルは、カナダの埋め立てごみ処理地の大きな負担であるため、長期耐用型アスファルトシングル(25 年)を採用することで、将来、屋根の取り替えが必要になる時に適切なリサイクル施設が完成していることを期待する。

## 7. 窓・扉

建築部材の在庫品には窓が遍在することを考えると、カナダの住宅のエネルギー消費量削減に大きな影響を与えるのは先端技術ではなく、むしろエネルギー効率のよい窓を使用することである<sup>4)</sup>。この先進住宅においても、設計段階で窓方位に関して様々な配慮が行われたことは言うまでもない(太陽エネルギーを吸収するために南向き、川の眺めを得るために北向きにするなど)。この先進住宅のガラス面積は大きく、外壁全面積の約 23%を窓と扉が占める(各扉にもガラスがはめ込まれている)。設計段階当初から優れた窓技術を使用すれば、窓面積を大きくしてもエネルギー効率や快適性が損なわれることはないとなっていたので、住居の立地条件や周囲環境を最大限に活用することを意図して設計した。

熱損失を最小限にして、快適性を最大限にするために、三重ガラス式アルゴンガス封入 Low-E 窓、断熱スパーサー、そして繊維ガラスの窓枠が選ばれた。断熱ガラスユニットは、熱損失を低減し、内部の表面温度を暖

かく保つため、結露と放射光による不快感のどちらも減少する。また、窓は内壁に隙間なく取り付けられるため、外縁部の温度が上昇する(さらに、この方法によって内壁の返りや外壁の押縁の必要性がなくなり、アルミ製の窓額縁の返りで代用できるため建築費が節減される)。窓枠は繊維ガラス製で、ポリスチレンを使って断熱されており、暖かいだけでなくメンテナンスが不要である。ビニール窓に比べて、寸法的にも安定している上に、好きなように塗装することもできる。この住宅には、繊維ガラスを使用していない楕円窓が正面ファサードに 1 つある。これは、楕円形では繊維ガラスの押出成形工程が不可能なためである。この楕円窓(断熱スペーサー付きアルゴンガス封入 Low-E 窓)には、アルミ被覆木材が使われている。

この先進住宅の使用可能な日射熱取得率は約 30% であるが(使用可能な日射エネルギー)、ビクトリア風建築のカーブしたポーチで 1 階のすべての窓が影になることを考慮すると、この値は高い寄与率である。先進住宅は冬季の日射熱取得と夏季の日射遮蔽をうまく調和している。

先進住宅の扉は、断熱スチール製で断熱スペーサー付きアルゴンガス封入低放射ガラスユニットが使用されている。外気冷房システムの一部である屋根裏の天窗も、断熱スペーサーのついた低放射アルゴンガス封入ユニットである。

## 8. 暖冷房と自然エネルギー利用

パッシブソーラー(太陽熱単純利用)による暖房を有効活用するために、この先進住宅は南方に面している。オープンスペース方式の設計は熱を簡単に拡散し、開放式職込板のついたオープンな階段通路は、冬でも太陽光線が北側の部屋に浸透するようになっている。2 階にある八角形の自宅オフィスには、南東側から西側にかけて窓がふんだんに使用されており、あたかもアトリウム空間のような美しい景色を実現している。この広い空間に吸収された太陽エネルギーは、壁上部に取り付けられた換気調整装置と大型排気プレナムによって効果的に回収され、住居内全体に拡散される(強制換気システムの排気量の約 75% がこのダクトから排気される)。また、HRV システムの排気装置も熱を機能的に分配する。ブラインドを閉め、必要に応じて天井にある補助扇風機を使用することで、夏季の住居内の過熱状態を防ぐことができる。ブラインドの使用は過熱を防ぐのに効果的である。

美的センスの良い装飾的な暖房器具として従来から暖炉が使われ、その放射熱は「気持ちが良い」と評価されている。近代的な暖炉、特にガスタイプは、一般的に旧式暖炉に比べてはるかに効率的で、各部屋を十分に暖房し、密閉された小さな部屋などは過剰暖房になりがちである。それらを考慮して暖炉とその製造業者を選択し、最小出力の暖炉を取り付けた。使用したガス暖炉は「小容量」とはいえ、低格電力が 8kW (27MBTUH) で、基本的に住居が -25℃ の熱損失に対応するように設計されている。先進住宅のオープンコンセプト設計は、居間の過剰暖房を防ぎながら 1 階全体に放熱するため、ガス暖炉の耐用年数を向上させることも考えられる。階段吹き抜けもオープンになっており、暖気が 2 階に対流し、さらに 1 階には強制排気装置があり、家全体に効率よく熱を分配することができる。このガス暖炉は、当然のことながら密閉燃焼タイプで、唯一の欠点はパイロットランプが常時点灯しているため、エネルギーが浪費されることである。しかしこの点については、暖炉使用時以外はパイロットランプのスイッチを切ることで解決される。1998 年のアイスストーム(とそれに伴う Manotick 地区の 1 週間の停電)時には、体感温度はマイナス 30℃ 以下まで低下したが、暖炉とそのパッシブ伝達システムによって、この先進住宅は常に室内を快適温度に効率よく保つことができた。

空調機器を使用せずに涼房を実現するためにも設計に工夫を凝らしている。建築面については、1階はカーブしたポーチが日射遮蔽するため太陽熱による過熱状態を防止するとともに、接地床工事によりパッシブクーリングが行われる。しかし最も重要な外気冷房メカニズムは、住宅設計に組み込まれた換気冷房システムである。数箇所に設けられた網戸や多数取付けられた開閉式窓のほかにも、屋根裏にも窓を設けることにより交差流を可能にし、さらに屋根裏の天窗は夜間の冷気と室内の暖気を素早く交換し外へ排気するというように、オープンスペースの概念が広く採用されている。屋根裏の天井扇風機を使って、暖気を機械的に吸い上げて天窗から排気し、住居全体を換気することによって、このシステムをさらに増強することが可能である。また、計3つの扇風機が天井に取り付けられており、必要に応じて強制対流により涼房することができる。

しかし、オタワの夏は蒸し暑いため、外気冷房だけで標準以上の快適性レベルを維持することが不可能な場合もある。したがって、蒸し暑い時期を考慮して、静かで、かつ除湿・冷房機能に優れたマルチスピード式集中冷房システムを採用した。優れた除湿効果を実現するのに必要な運転時間を計算して、このシステムの容量が正確に決定された。エネルギー回収型換気装置は、このような蒸し暑い時期にも新鮮な換気を行う。この装置の湿気交換システムは、湿気を外に排気される空気に移動することによって、湿った空気の取込み量を制限し、潜熱負荷を少なくする。

## 9. 機械システム

主要な室内暖房として、高効率圧縮密閉燃焼型ガス温水暖房装置 (Lennox CompleteHeat Water Heater) が使用されている。この暖房装置は、年間総合効率 (CAE) 90%、出力 100 MBTUH (29.3 kW) で、放射床暖房システム、ファンコイル強制排気システム、そして家庭用温水のため必要に応じて効率的に給湯する。

接地床は、ラジアントチューブ内 (コンクリート内) への温水供給により暖められる。この暖房手法により快適な放射熱が発生するため、サーモスタットを使って周囲の空気温度を低く設定することができる。

小径高速ダクトシステム (ESP: Energy Saving Products 社製) は、(ESP ファンコイルを通じて) 冷暖房の補助を行い、(Venmar 社の Energy Recovery Ventilator: ERV を通じて) 換気された空気を家屋全体に送風する。天井と壁にダクト (50mm/2 インチ) の排気口があるため、空気循環を向上させることができる (その上、家具類によって妨害されないという利点もある)。ファンコイルと ERV はもちろんのこと、高効率空気清浄機 (Nutech 社製 Turbulent Flow Precipitator) を、スペースを取らないように屋根裏ロフトの底に収納している。ERV は熱・湿気回収換気を行うことで、冬季には加湿換気された温風を、夏季には除湿換気された冷風を送ることができる。

排気ダクトには流量調整弁が取り付けられているため、ERV はファンコイルユニットなしでも運転できる。この自動式調整弁により、給気側ダクトを通じて各部屋に確実に送風し、排気プレナムは逆流 (経路の側流) を防ぐ。また、この調整弁は、空気清浄機の短絡を防止するため、ファンコイルユニットの電源を入れなくても専用の小型ファンが作動する。室内冷暖房モードのファンコイルユニット使用時は、負圧によって調整弁が開きシステム全体が正常運転する。換気専用・空気洗浄専用モード時はファンコイルユニットの作動を必要としないことから、多量のエネルギー (年間で推定約 2236 kWh, 170 ドル) を節減することができる。システムの風量を測定した結果、非常に効果的であることが立証された。測定値からは、システム風量の急激な低下、ファンコイルユニット停止時の ERV または空気清浄機による電力使用量の増加は見られなかった。



## 10. 照明

昼間は家屋全体で昼光照明を利用できる(大きなガラス面が室内を明るくする)。ポーチが張り出しているため、1階は柔らかい間接昼光照明となる。主寝室のウォークインクローゼットには東向きの窓があり(ガレージが別棟にあるため)、午前中、服を着替える時は直達日射が流入するようになっている。

先進住宅全体には、主として小型蛍光灯や固定式低電圧ハロゲンなどの省エネルギー型照明器具が使われている。居間には、住宅が完成した同時期に発売された照明調節可能な小型蛍光灯を採用している。

## 11. 家庭用器具

家庭用器具も本プロジェクトのプログラムに沿って選択した。例えば、消費水量が少なく、下水浄化槽にとって有害な漂白剤が不要(高温洗濯の場合)な上、革命的な高速回転脱水機能によって乾燥機の使用回数を減らすことができるという理由から前入れ方式洗濯機を選んだ。低エネルギー消費小型乾燥機(乾燥の必要性を少なくすることで可能になる)を購入することにより、節約された費用で高額な洗濯機を購入でき、洗濯機の費用増加分が相殺される。これらの器具は、寝室からの利便性とスペースの節約のため、2階廊下の洗濯用に設けられた収納庫内に設置されている。

台所用器具には、省エネルギー型冷蔵庫(Energideで評価されている同機種の中でトップクラス)とパントリー用の小型冷凍庫がある(小型冷凍庫は上部開閉式構造になっておりエネルギー効率が高い)。食器洗い機は、室内がオープンスペースであるため、特に1階で音が伝わり易いと想像されることから、Energideの評価と騒音レベル評価(静かな機種)の両方に基づいて選択した。

エネルギー効率と調理上の利点から、ガスコンロを選んだ。なお、煙が効率よく確実に排気されるように大容量のレンジフード換気扇を取り付けた。レンジフード換気扇を作動して住居を20 Paまで減圧するという住居減圧試験を実施した結果、放射型暖房機(温水暖房装置と暖炉)の重要性が確認された。

## 12. リサイクルと堆肥化

リサイクルボックスはオタワ全域の住居でよく見られるが、最近では生ごみ処理機も普及し始めている。こういった環境保全対策を拡大する1つの方策としては、不便な点を取り除くことである。最も不便な点は、一般的にこれらの2つのボックスが外に設けられており(リサイクルボックスの場合はガレージにあることも多い)、台所の外に出なければならないことである。先進住宅は、利便性を追求し、これら両方の保存場所を台所に設けた。リサイクルボックスは、(家庭内でのリサイクル品分離の便宜を図って)台所の食器棚とパントリーの2箇所に設置した。また、密閉容器内で好気性分解を行い、それにともなう悪臭を防ぐために、スライド式台所用ごみ箱の上部キャビネットに設けられた専用スペースに、カーボンフィルター付き小型堆肥容器を設置した。さらに、必要に応じて小型容器の中身を捨てやすいように、勝手口の近くに屋外生ごみ処理機を設けた。

## 13. 室内空気質

汚染物質排出源の除去と分離、室内空気の換気と浄化、という3つの簡単な方法で先進住宅は良質な室内空気質を実現した。



汚染物質の排出源・吸収源を除去することによって、最初から健康な室内環境を創ることができる。そのために、ビニールシート床材(揮発性有機物質 VOC の排出源)と床一面のカーペット敷き(汚染物質を吸収して経年的に徐々に再放出する汚染物質吸収源、およびその裏地と下敷きからの VOC 排出源)が排除された。代わりに(ホルムアルデヒドで接合された中質繊維板ではなく)ノンホルムアルデヒドの高密度繊維板製の積層木質床材が使用された。この床材は市販材の中でも他の製品に比べて寿命が長く耐久性に優れる上、メンテナンスも簡単に酢を入れた水溶液でモップがけするのみで清掃できる。浴室・洗面所は、ビニールシート床材の代わりに、VOC を含有しない陶磁器タイル張りとした。階段には、(床一面のカーペット敷きではなく)VOC 非含有塗料が使用されており、主階段の通路カーペット(下敷きはない)は取り替えが容易である。同じ VOC 非含有塗料製品(Glidden Lifemaster 2000)が家屋全体の壁、天井に使われている。家具類には繊維板・メラミン樹脂製品に代えメープル材の高級家具を使用した。

直接排気装置の使用により、燃焼ガスの室内への漏れはない。また、パーティクルボード製カウンタートップの裏面の密閉、気密外被による外界汚染物質の屋内への侵入防止などにより、汚染物質の居住環境への影響を制限している。

換気と浄化は、良質の室内空気質を維持する最終ステップとなる。必要に応じて換気を行うため手動制御装置、汚染物質センサー、湿度探知器を備えると共に、ERV は高速/低速、連続/断続換気を自由に行うことができる。家全体を適切に換気できるようにダクトシステムが各部屋に取り付けられている。このシステムの湿気回収機能によって、年間を通じて望ましいレベルに湿度維持される。ERV のフィルターは、吸収された空気を効率よく濾過し、高効率空気清浄機(Nutech 社製 Turbulent Flow Precipitator)は空気中の汚染物質、塵、その他の不快物質を確実に除去する。大容量レンジフードは、ガスコンロから排出される燃焼ガスや調理によって生じる煙を除去する。

#### 14. 省エネルギー性能

この先進住宅は入居からほぼ 2 年が経過する。環境性能は設計通りで、エネルギー消費量も目標を達成している。エネルギー消費量を既存住宅の 2/3 まで削減するという R-2000 の目的を受け継いだ先進住宅は、エネルギー消費量をさらに R-2000 の 1/3 まで低減した。したがって先進住宅のエネルギー消費量は、既存住宅の半分以下ということになる。

図 1 に、既存住宅、R-2000 住宅、先進住宅のエネルギー消費量の比較を示す。先進住宅の暖房、換気、家庭用温水(DHW)の消費量は、R-2000 住宅の 2/3 を大幅に下回るレベルまで節減された。照明・家庭用器具による消費量は既存住宅と R-2000 住宅よりは減少したが大差ない。これは、先進住宅の自宅オフィスの余分なエネルギー消費と各住宅の居住者数(2 名)が原因と考えられる(居住者数を増やして 4 人家族世帯について考えると、照明・家庭用器具の消費量は増加するが、節減量「絶対量」は多くなる)。冷房エネルギーの消費量は、著しく削

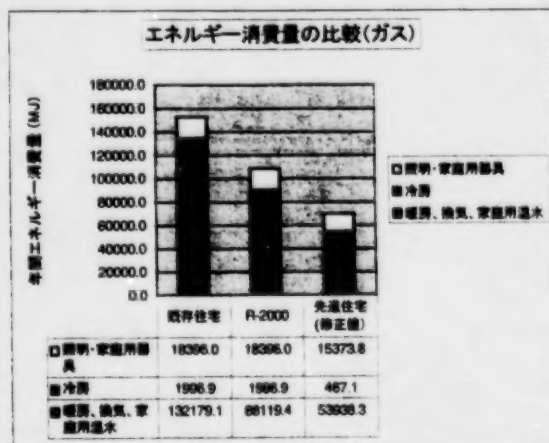


図 1 エネルギー消費量の比較

減された。これは主に外気冷房システムの成果であるが、他にも気密性による湿度管理、ERVの湿気排除が要因と考えられる。

先進住宅の実際のエネルギー消費量とシミュレーション結果は、石油暖房とガス暖房ともにほぼ一致する。実測値とシミュレーション値の差は2.5%以内で、HOT 2000ソフトウェアを用いたシミュレーションは実際のエネルギー使用量をよく捕捉している。なお、シミュレーションには実際に測定された基底負荷が使用されており、生活要因や疑似負荷の相違など一般的なシミュレーションにある誤差要因は含まれていない。HOT 2000ソフトウェアは信頼ある優れた精度を発揮し、設計支援ツールとしての価値が実証されている。

## 15. 費用効果

省エネルギー住宅に対する費用効果の一般的な評価法は、増加費用(省エネルギー対策に必要な費用)をエネルギーの効率化により回収するために必要な年数を見積もる単純な元金回収法である。ただし、この手法は、貨幣の価値および実際の支出を無視するため費用効果を正確に予測するものではない。また、購入能力の問題を反映するものでもない。不動産売買業界のほとんどが、宣伝や購入能力評価を行う際に、売り値を重視しているが、購入能力を正確に測定するには月間の住宅維持費を考慮する必要がある<sup>5)</sup>。全ての購入能力指標はもちろん、住宅ローン融資機関が行う購入能力評価は、住宅ローンの元金・利息、税金、光熱費(PITE)といった住宅所有の月間必要経費を基準にしている<sup>6)</sup>。

したがって、先進住宅の費用効果の算定は月間の現金支出を基準とした。省エネルギー対策による住宅ローン増額分が月間光熱費の節減額で相殺されることから、支払い月額の費用効果を算定した。それによると、エネルギー効率・快適性・品質・耐久性に優れ、しかも健康的・静か・明るいといった様々な利点を備えた住宅を、既存住宅と同額で所有維持することが可能になると予測される。したがって、先進住宅は高い購入能力を要求するものではなく、またエネルギー価格が大幅に上昇した場合には既存住宅より安価になると考える。

図2は、先進住宅の省エネルギー対策の費用効果を示す。先進住宅は、省エネルギー対策として\$8,500使用し、年間\$640の光熱費を節約すると見積もると、この節約費は\$8,500のローン増額分を相殺する。つまり、既存住宅を所有する場合と同じ月間支出で、先進住宅を所有することになる。先進住宅の特長である良質な室内空気、全般的な品質向上、快適性、その他の改良点を実現するには、コスト増額は避けられない。しかし、これらの改良点は所有者の財産となり、通常の市場においてコスト的にも利益的にも価値あるものになる。

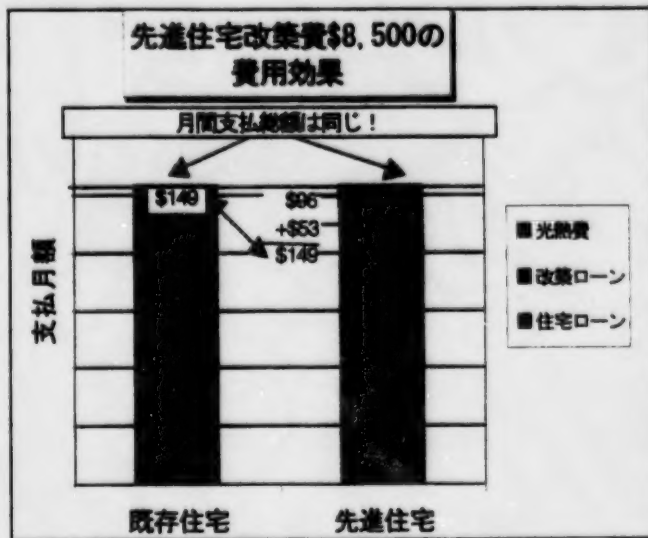


図2 先進住宅の費用効果

## 16. むすび

LBS/TDI 先進住宅は、全ての点で従来の住宅より遥かに高性能である。例えば、使用エネルギーは約 50% 節減され、同時に快適性・生活の利便性が向上する。さらに、健康的で環境保全を考慮した住宅を低コストで建築することが可能となる。先進住宅の設計には、実際のエネルギー性能を正確に予測することが必要で、シミュレーションソフトウェア (HOT2000) はそのための設計支援ツールとして有用である。カナダの建築技術は広範囲に及ぶ要因を網羅している。先進住宅は、将来の住宅設計指針の基準となると確信しており、耐久性等の住宅性能の向上は市場で受け入れられると考える。

---

## 参考文献

- 1) Lee, R. Kevin (1996). Cost Effectiveness Study fo the Celforect Insulative Exterior Air-Barrier System. Report submitted with Scanada Consultants to Celfort Construction Materials Inc., Valleyfield, Que.
- 2) Lee, R. Kevin (1996). "Advanced House Air Barrier Systems", Energy Efficient Building Association Excellence in Building Conference Proceedings 1996. Energy Efficient Building Association, Minneapolis, MN.
- 3) Scanada Consultants (1995). Advanced House Technologies Assessments. Natural Resources Canada, Ottawa, Ont.
- 4) *ibid.*
- 5) Lee, R. Kevin (1995). Advanced Energy Efficient Upgrading for Affordable Homes in Canada. Master's thesis. McGill University, Montreal, Quebec.
- 6) Lee, R. Kevin (1995). R-2000 and Advanced House Energy-Efficient Upgrades for Affordable Homes in Canada. Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario.

S

24

22

2

2

**Session 4／分科会 4**

**Building Envelope (Part 1)**

**建築外被（その 1）**





# **Properties and Mitigation Method of Concealed Condensation in Summer Condition**

Takao Tsuchiya  
Toyo University  
2100 Kujirai, Kawagoe-shi  
Japan

## **INTRODUCTION**

The previous report [1] was addressed to the problem of concealed condensation in wooden walls under summer condition according to the remarkable increase of cooling demand. The mechanism of the phenomena of condensation was detected and the effectiveness of computer simulation based on the simultaneous heat and moisture transfer equations was also demonstrated.

Presented in this report are (1) the comparison of computer simulation with full scale wall experiments conducted by BRI [2] as one of the committee activities, (2) the sensitivity analysis by computer simulation to help us to recognize the further characteristics of phenomena and (3) the demonstration of some desirable wall specifications selected.

## **COMPARISON OF COMPUTER SIMULATION WITH FULL SCALE PERIODICAL STEADY STATE EXPERIMENTS**

In the previous report, the effectiveness of computer simulation was demonstrated by comparing with the experiments which were restricted to the relatively small scale wall models. To re-confirm the validity of computer simulation, comparison was made with three different type of full scale wall models of Wall No.1, No.2 and No.4 indicated in Fig.3.

The computer simulation is basically the same as described in the previous report except that  $9 \text{ g/m}^2\text{h}$  ( $\text{g/kg}'$ ) was given as the evaporative coefficient of condensed water instead of 1.5 and the measured hygrothermal values of composite wall materials were used.

The excellent agreement can be seen between the measured and the calculated in Fig.1.

## **SENSITIVITY ANALYSIS FOR SOME CONDITIONS**

Computer simulations were carried out to get further significant features of the summer type condensation.

Fig.2(1) shows that the vent air layer with only slight air current is effective to depress the relative humidity of just behind the vapor barrier where the summer type condensation will occur. The maximum current air velocity in Case 1 is estimated to be 0.12 m/s. The more and / or less air current than Case 1 does not affect so much.

Fig.2(2) implies that the different value from 5 to 20  $\text{g/m}^2\text{h(g/kg')}$  of moisture transfer coefficient at the vent air layer does not affect so much on the relative humidity behind the vapor barrier.

It is easily recognized from Fig.2(3) that the higher room air temperature will get the lower relative humidity behind the vapor barrier. In fact, this will be one of mitigation methods of condensation, but will quite uncertain due to depending on the spontaneous occupant's selection.

### PROPOSAL OF SOME WALL SPECIFICATIONS AND ITS EVALUATION

The mitigation methods of summer condensation can basically be divided into 3 categories, (1) to put the vapor retarder on the inner surface of plywood, which is the source of vapor generation, in order to restrict the vapor migration, (2) to set the porous material between vapor barrier and insulation material to transfer vapor from plywood back and forth and (3) to add plastic insulation board to the room side of wall to keep the inner temperature to be higher than the dew point temperature. The seven kind of walls illustrated in Fig.3 are selected to be examined.

Wall No.1 is quite common and typical specification without vent air layer.

Wall No.2 is of no plywood with vent air layer.

Wall No.4 is the vent air layer type referred to Wall No.1.

Wall No.5 and No.6 are the type of porous material inserted behind the vapor barrier.

Wall No.7 is of double vapor barriers, one is at room side and the other on the inner surface of plywood.

Wall No.8 is the variation of wall No.4 with less permeable resistance vapor barrier.

Computer simulations were carried out on the following boundary conditions over two years started at 1st of July with time step of 1/10 hour for 5 cities represented by regional moderate climate.

The room conditions are

Temperature:  $\theta_r = 4.5 \cos(2\pi (LD-212) \times 24/8760) + 22.5$

LD: number of days account  
from 1st of Jan.

Relative Humidity: 60% constant over whole year

The outside condition is given by the standardized meteorological data of objective city.

The diurnal accumulation quantity of condensed water and the fungal index [3], averaged over summer season from July to September are listed in Table.1,2.

Although the evaluation criteria has not been established yet, the diurnal condensation accumulation should be less than 10 to 20 g/m<sup>2</sup>d not to run down toward the bottom component of wall assembly, and the less than 3 fungal index will be recommended [4] in order to depress the mold growth.

## CONCLUSIONS

The effectiveness of computer simulation was re-confirmed by comparing with full scale wall model experiments.

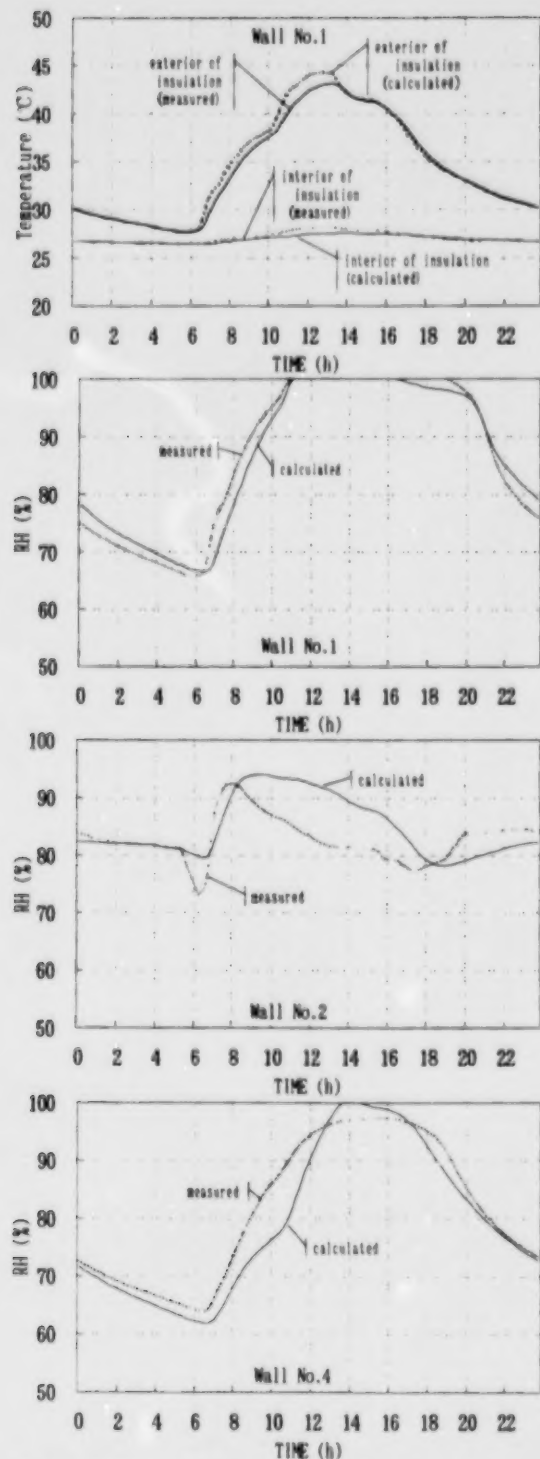
To prevent physical damage caused by summer condensation, the alternative of (1) the vent air layer, (2) the wall system with thin porous material inserted at just behind the vapor barrier (3) the double vapor barrier wall system and (4) their combination is preferable from the practical point of view.

## ACKNOWLEDGMENT

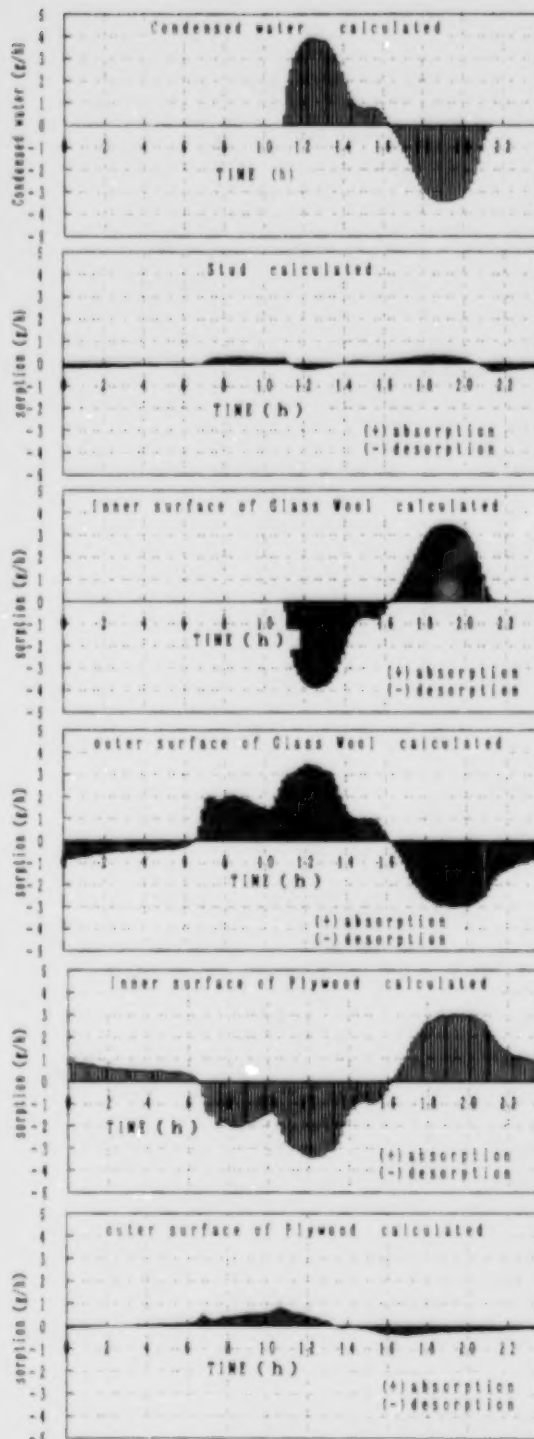
The author is grateful to Mr.Osawa and Mr.Seto who conducted the elaborate full scale experiments. And also thanks are extended to all the members of the Committee "for condensation prevention techniques for insulated walls in the moderate climate".

## REFERENCES

- 1.Tsuchiya,T. "Concealed Condensation in Wood Frame Construction Walls during Cooling Period of Summer Season", 3rd Canada/Japan Housing R&D Workshop (in Ottawa), June 1996.
- 2.Osawa,H., et al. "Study on Layer Design of Insulated Walls in Moderate Climate", 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop (in Sapporo), November 1997.
- 3.Abe,K. : A Method for Numerical Characterization of Indoor Climates by a Biosensor using a Xerophilic Fungus. Indoor air, 3:344-348(1993)
- 4.Abe,K. et al : Assessment of Indoor Climate in an Apartment by Use of a Fungal Index.
- 5.Ozaki,A. "Regional Difference of Dew Proofing Standard in Exterior Wall", 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop (in Sapporo), November 1997.
- 6.Kumaran,K. "Addressing Wall Condensation", 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop (in Sapporo), November 1997.



(1) Comparison of calculated with measured temperature and relative humidity behind vapor barrier



(2) Moisture movement from each surface of wall component in Wall No.1

Fig.1 Comparison of computer simulation with Experiments



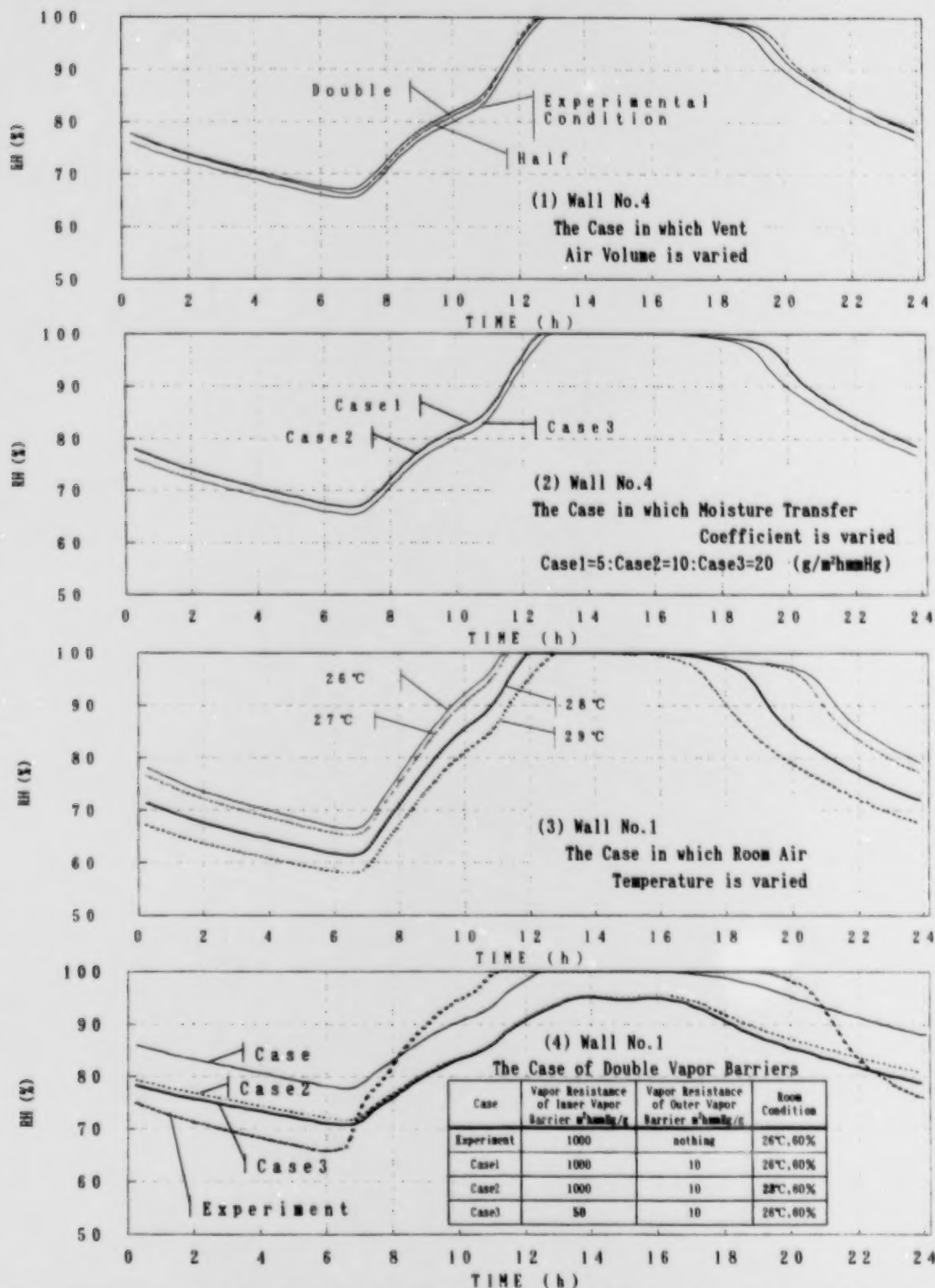


Fig.2 Sensitivity Analysis of Relative Humidity behind the Vapor Barrier under some variable Conditions

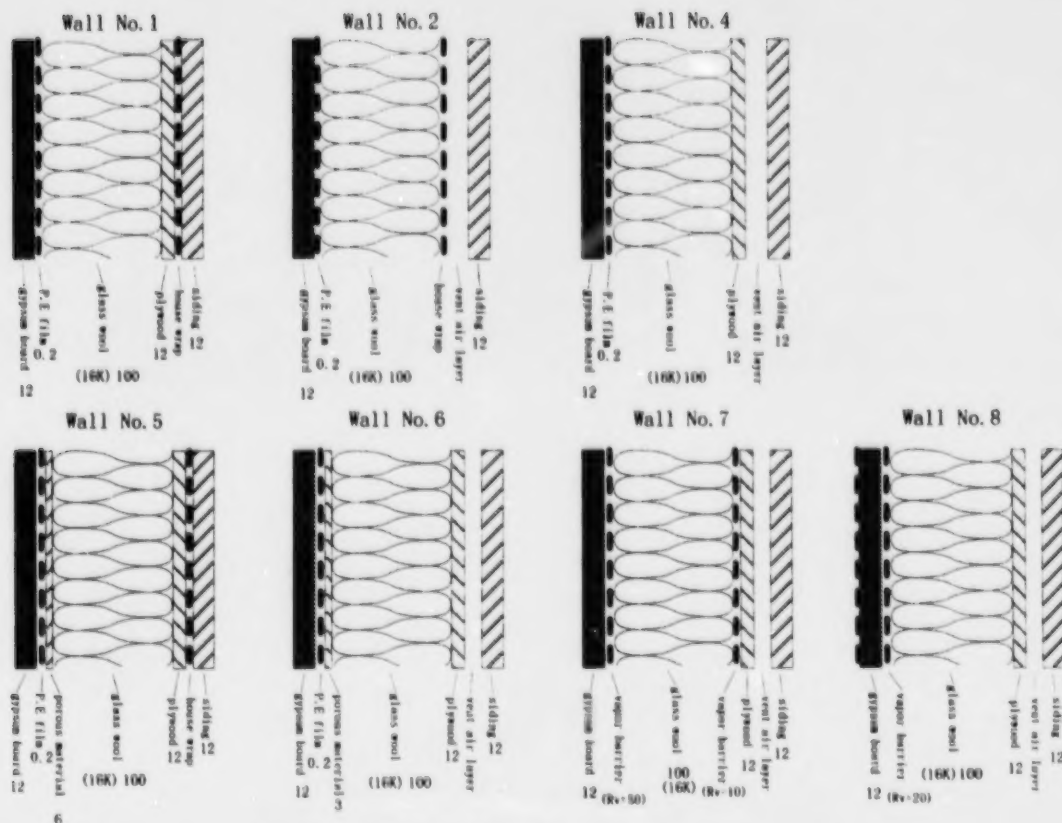


Fig.3 Wall Specifications to be examined

Table.1 Seasonally Averaged Diurnal Condensation Quantity (indoor side)

The second year  $g/m^2d$

Orientation : South

City	Latitude*	Wall No.1	Wall No.2	Wall No.4	Wall No.5	Wall No.6	Wall No.7	Wall No.8
Tokyo	35.68°	7.73	0.33	1.23	0	0	0	1.40
Niigata	37.92°	5.47	0.21	3.28	0	0	0	4.41
Osaka	34.68°	5.07	0.18	3.56	0	0	0.01	4.24
Fukuoka	33.58°	5.66	0.72	5.83	0	0	0.14	7.08
Kagoshima	31.57°	10.33	1.11	8.47	0	0	0.03	9.14

Table.2 Seasonally Averaged Diurnal Fungal Index (indoor side) The second year

Orientation : South

City	Longitude*	Wall No.1	Wall No.2	Wall No.4	Wall No.5	Wall No.6	Wall No.7	Wall No.8
Tokyo	139.77°	5.22	2.44	0.81	1.82	0	0.17	0.38
Niigata	139.05°	0	0.30	0.51	0	0.02	0.30	0.09
Osaka	135.52°	0.41	2.23	2.04	0.07	0.56	1.20	0.71
Fukuoka	130.38°	0.13	2.83	1.76	0	1.10	2.66	0.69
Kagoshima	130.55°	2.32	9.56	5.94	2.06	3.16	2.52	1.40

\* geographical location

# 夏型壁体内結露の特徴とその緩和法

土屋喬雄

東洋大学工学部建築学科

川越市鯨井 2100

## 目的

前回の報告〔1〕では、夏型壁体内結露の発生メカニズムを明らかにし、また熱水分同時移動方程式に基づくシミュレーション計算が有効であることを小規模な壁体モデルを対象とした実験室実験との整合により明らかにした。

その後、「温暖地のための結露防止技術研究」委員会の活動の一環として実大規模に近いモデル実験が建築研究所で行われた〔2〕。

本報告は、(1) 新たに行われた実験とシミュレーション計算との比較により、その有効性を再確認すること、(2) 室温や通気量などを変えたとき結露性状がどのように変化するかを捉えること、(3) 具体的な7つの壁体仕様について5つの都市を対象に長期シミュレーションを行い結露量ならびにカビ指数より評価を試みることを目的としている。

## 実大規模壁体モデルによる周期定常実験

図-3 に示した壁体のうち、壁体 No.1, No.2 および No.4 を対象として比較が行われた。結果は図-1 に示した如くで、防湿層裏面（夏型結露の発生する箇所）での温度、相対湿度の計算値は実験値によく追従しておりシミュレーション計算の有用性が再確認された。他の部位でも良好な一致が見られたことを付け加えておく。なお、今回の計算では新たに測定された構成部材の湿気物性値を使用し、また結露水の再蒸発に関する湿気伝達率として  $9 \text{ (g/m}^2\text{h g/kg' )}$  を用いた。

## 感度解析

夏型結露の性状をより深く知るためにシミュレーション計算が行われた。図-2 (1) は通気工法の壁体 No.4 で通気量を変化させた場合、防湿層裏面相対湿度がどのように

変わるかを見たもので、実験条件（最大通気速度は 0.12 m/s）に対しその倍およびその半分に通気量を変えても変化の度合いはきわめて小さいことがわかる。同図（2）は通気層の湿気伝達率を 5、10、20 g/m<sup>2</sup>hmmHg の3段階で変化させた場合であるが、この場合にも相対湿度の変化の度合いは小さい。同図（3）は壁体 No.1 で室温を 26、27、28、29℃に変化させた場合であり、当然のことながら室温の影響は大きい。

同図（4）は壁体 No.1 を対象に二重防湿層とした場合で、合板内表面に透湿抵抗 10 m<sup>2</sup>hmmHg/g の防湿層を設置し、室内側防湿層の抵抗を 50 にすると結露発生がなくなることが分かる。

### 結露を緩和させる壁体仕様の提案と評価

実験で対象とした3つの壁体仕様、壁体 No.1、No.2、No.4 の他に防湿層と断熱材との間に調湿材を挿入した壁体 No.5、それに通気層を加えた壁体 No.6、合板の内表面に防湿層を加えた壁体 No.7、通気工法で室内側防湿層の透湿抵抗を 20 に低めた壁体 No.8 の4つの仕様を加え、2年間にわたる長期シミュレーションを実施して比較検討した。境界条件としては、

室内温度： $\theta_{\gamma}=4.5\cos(2\pi(LD-212)\times 24/8760)+22.5$       LD: 1月1日を起点に数えた日数

室内湿度：60%一定

外気温湿度    対象地域の標準気象データ

とし、5つの都市を計算の対象とした。計算は 1/10 時間刻みで行い、2年目の防湿層裏面（断熱材内側）での結露量およびカビ指数〔3〕を算出した。表-1 に日積算結露量の期間平均値および表-2 に日平均カビ指数の期間平均値を示した。結露水が流下しないためには 10~20 g/m<sup>2</sup>d 以下であること、またカビ着生が生じないためにはカビ指数 3 以下が望ましい〔4〕といえよう。

### 結論

新たに行われた実大規模の壁体実験との比較により熱水分同時移動方程式を基にしたシミュレーション計算が有効であることを再確認した。

夏型結露を防止又は緩和させるには、通気工法が、更には調湿材付加工法や二重防湿層工法などが実用の観点から見て望ましいことを明らかにした。

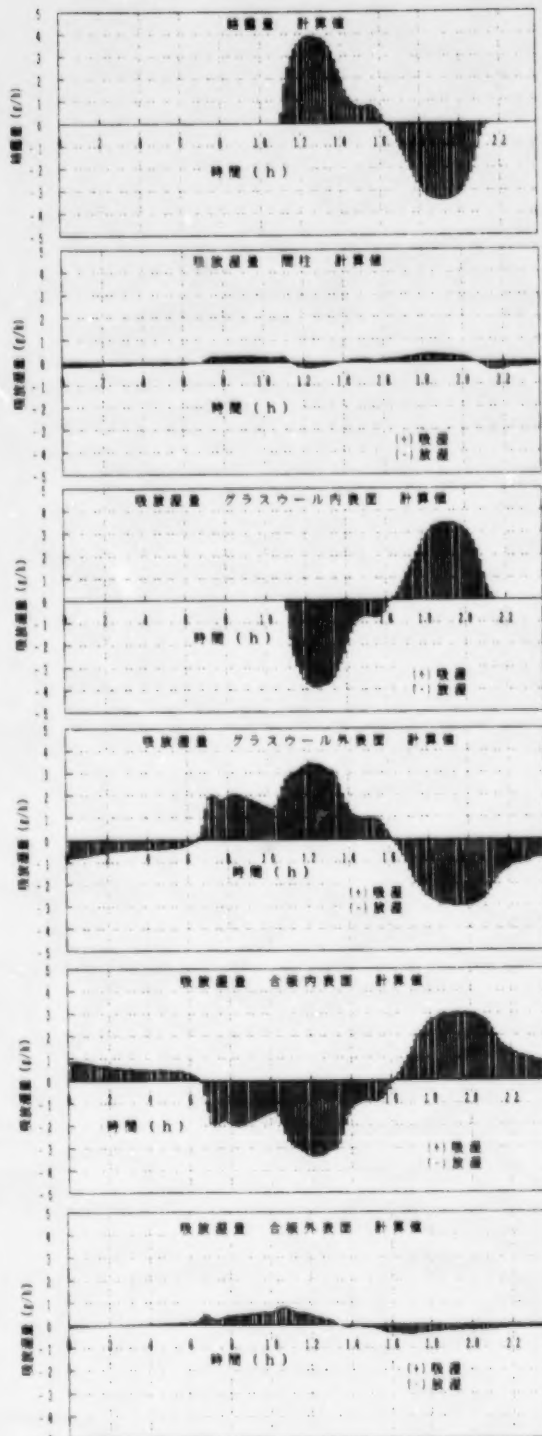
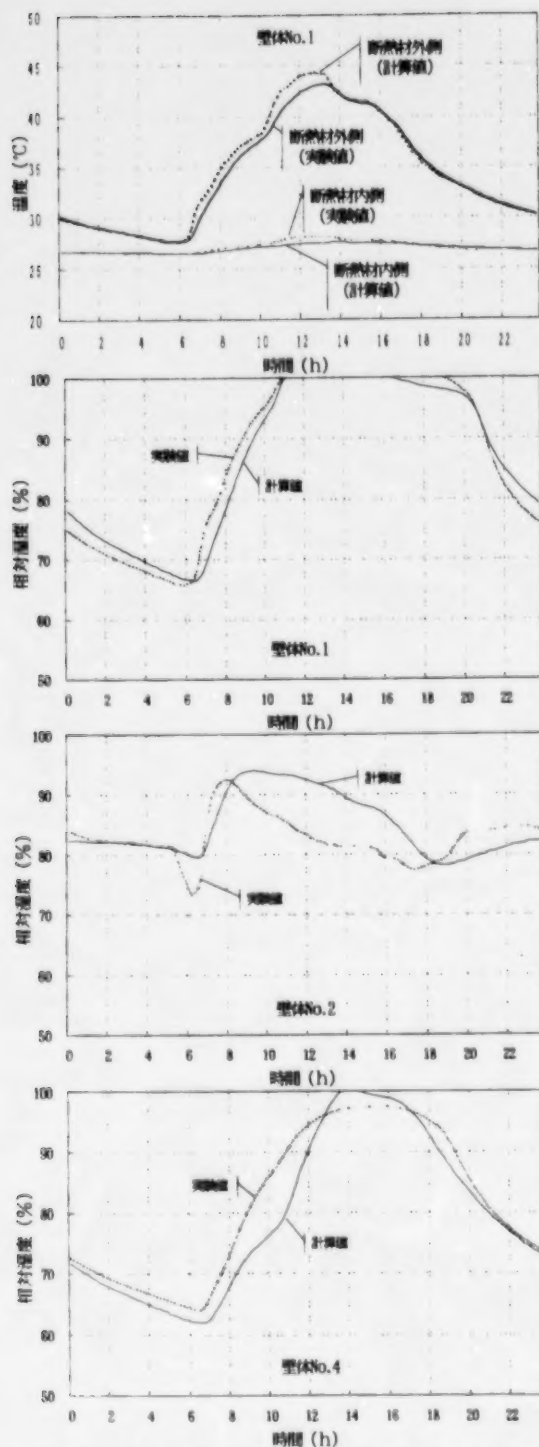
## 謝辞

信頼性の高い、手間のかかる実験を遂行された大沢、瀬戸両氏に対して、また「温暖地のための結露防止技術研究」委員会の委員各位に対して謝意を表したい。

## 参考文献

1. Tsuchiya, T. "Concealed Condensation in Wood Frame Construction Walls during Cooling Period of Summer Season", 3rd Canada/Japan Housing R&D Workshop (in Ottawa), June 1996.
2. Osawa, H., et al. "Study on Layer Design of Insulated Walls in Moderate Climate", 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop (in Sapporo), November 1997.
3. Abe, K. : A Method for Numerical Characterization of Indoor Climates by a Biosensor using a Xerophilic Fungus. Indoor air, 3:344-348(1993)
4. Abe, K. et al : Assessment of Indoor Climate in an Apartment by Use of a Fungal Index.
5. Ozaki, A. "Regional Difference of Dew Proofing Standard in Exterior Wall", 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop (in Sapporo), November 1997.
6. Kumaran, K. "Addressing Wall Condensation", 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop (in Sapporo), November 1997.





(1) 防湿層裏面における温度、相対湿度の実験値と計算値の比較

(2) 壁体No.1における各部材表面からの吸放湿量

図-1 シミュレーション計算と実験との比較

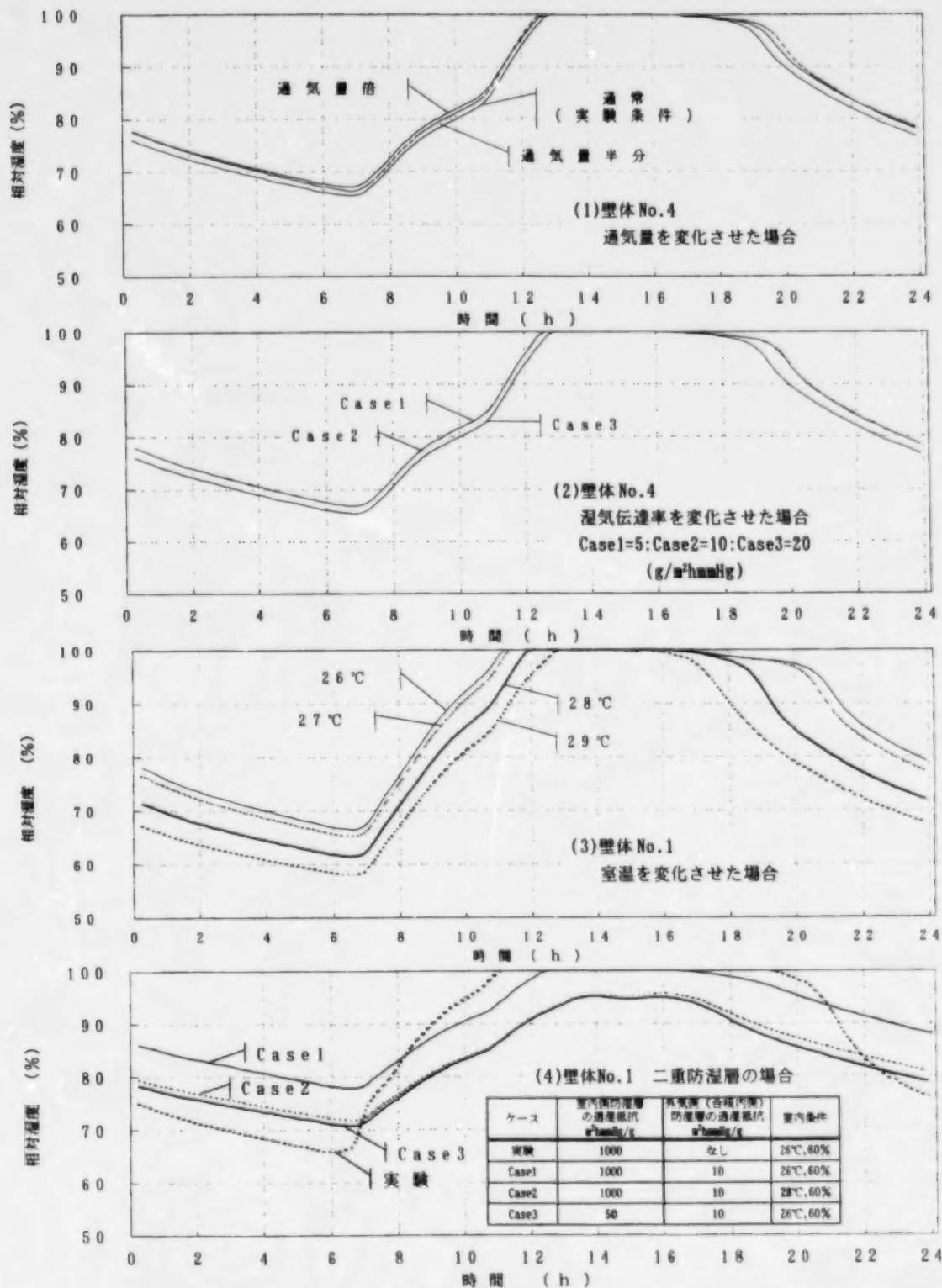


図-2 各種条件変化に対する防湿層裏面の相対湿度の応答感度



## **Creating Effective Air Barriers: Materials and Techniques**

Jacques Rousseau, Canada Mortgage and Housing Corporation  
700 Montreal Road, Ottawa ON K1A 0P7

### **AIR LEAKAGE**

Air leakage can be controlled by installing an air barrier system. Such a system forms a continuous envelope--consisting of the walls, roof, and foundations--that make up the shell of the house.

To be effective, an air barrier must fulfil four requirements. It must be

- " air impermeable,
- " structural or rigid,
- " continuous, and
- " durable or maintainable.

Since the prime function of the air barrier system is to prevent airflow, the materials and assemblies must have low airflow properties. The system must be strong enough to resist the effects of wind, which can be a very powerful force, and durable enough to last the life of the building. Finally, it must form a continuous envelope around the building. An air barrier that fails to meet any one of these criteria will be ineffective at preventing air leakage.

Several different types of air leakage are possible. Air leakage through the building materials themselves is referred to as **diffuse flow**. Concrete block, for example, is not airtight because of its porosity.

**Orifice flow** is airflow through openings such as those in the window frame or around electrical outlets. Orifice flow is usually not a major source of moisture problems because the air flows directly through and does not cool down and lose its moisture until it is outside the house. This moisture sometimes forms icicles on the outside of the building. While not aesthetically pleasing, this generally does not damage the structure of the building.

By opposition, the most damaging type of air leakage is **channel flow**. In this case, air penetrates the wall and then travels for some distance before escaping. As the air travels, it cools. The moisture that condenses is left behind inside the wall.

Obviously, the less air leakage, the better. Since perfect airtightness would be difficult, if not impossible, to achieve, the question arises of what should be considered the maximum acceptable airflow.

The National Research Council of Canada addressed this question in a review of existing research on air leakage (NRC 1989). The standards reviewed included one developed by the

American Architectural Manufacturers' Association (AAMA) Aluminum Curtain Wall Design Guide Manual. At 75 Pa air pressure, the AAMA standard allows a maximum air leakage of 0.3 L/s-m<sup>2</sup>.

While the AAMA standard is useful as a starting point, it is not directly applicable to the types of air leakage problem encountered in Canadian houses. The standard applies to curtain walls, the glass walls used in many new office buildings. Curtain walls are constructed primarily from airtight materials such as glass and metal so that channel flow does not occur. The AAMA standard was also developed for the United States, which in general has a milder climate than Canada.

In recognition of the more severe conditions that prevail in Canada, the NRC in its review decided to lower the acceptable level by a factor of two. The NRC also recognized that the level of air leakage that could be considered acceptable would depend on the relative humidity inside a building.

For a building with low humidity, such as a warehouse (0 to 27% RH), the NRC arrived at a maximum acceptable leakage of 0.15 L/s-m<sup>2</sup>. At moderately humid levels of between 25% and 50% RH, similar to those encountered in most houses, air leakage should not exceed 0.10 L/s-m<sup>2</sup>. Under conditions of high indoor humidity (over 50% RH), found in environments such as art galleries, computer rooms, museums, or hospitals, the maximum acceptable leakage would be .05 L/s-m<sup>2</sup>.

Since the completion of the NRC review, Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) has revisited the question of acceptable levels of air leakage in a more scientific and specific way.

CMHC's research was based on the assumption that the acceptable level of air leakage depends on a variety of factors. One of these is climate: a level that is suitable for the more temperate parts of southern Ontario is not suitable for an area such as James Bay. The level would also be affected by the interior relative humidity and by the materials used in construction. Concrete walls are less susceptible to moisture damage than wooden walls, for example.

The result was a computer program designed to take these variables into account. Using this program, it is possible to determine maximum leakage levels for a variety of wall assemblies and climates. Some examples are listed in Table 1.



**Table 1: Maximum Acceptable Leakage Rates for Selected Wall Assemblies and Climates**

Wall composition	City	Maximum leakage rate
gypsum board	Toronto	0.30 l/s-m <sup>2</sup>
waferboard	Edmonton	0.22 l/s-m <sup>2</sup>
hardboard	Vancouver	0.38 l/s-m <sup>2</sup>
gypsum board	Toronto	0.67 l/s-m <sup>2</sup>
insulation	Winnipeg	0.44 l/s-m <sup>2</sup>
gypsum sheathing	Edmonton	0.57 l/s-m <sup>2</sup>
brick	Vancouver	0.94 l/s-m <sup>2</sup>
gypsum board	Toronto	0.08 l/s-m <sup>2</sup>
insulation	Winnipeg	0.06 l/s-m <sup>2</sup>
glass fiber	Edmonton	0.07 l/s-m <sup>2</sup>
hardboard	Vancouver	0.08 l/s-m <sup>2</sup>
gypsum board	Toronto	0.08 l/s-m <sup>2</sup>
insulation	Winnipeg	0.06 l/s-m <sup>2</sup>
polystyrene	Edmonton	0.07 l/s-m <sup>2</sup>
hardboard	Vancouver	0.08 l/s-m <sup>2</sup>

## AIR BARRIER MATERIALS

The air barrier system is composed of materials that must be joined together to form assemblies. These, in turn, are joined to form the air barrier system. Obviously, the failure will be most severe if the materials used are not sufficiently air impermeable. While many common building materials are capable of forming an effective air barrier, many are not, and it is vital to know which is which. A few years ago, a research project was conducted in order to obtain this information (CMHC 1988).

Forty different building materials were conditioned at a standard temperature and humidity. They were then attached to a testing apparatus, essentially a metal box that could be pressurized or depressurized to force air in either direction through the material being tested. Instruments on the box recorded the amount of air leakage that resulted (see Table 2).

**TABLE 2: Air Leakage Rates of Selected Building Materials**

		(L/s . m <sup>2</sup> )
2 mm	smooth-surface roofing membrane	no measurable leakage
2.7 mm	modified bituminous torch on grade membrane (glass fiber mat) aluminum-foil vapor barrier	no measurable leakage
1.3 mm	modified bituminous self-adhesive membrane	no measurable leakage
2.7 mm	modified bituminous torch on grade membrane (polyester reinforced mat)	no measurable leakage
9.5 mm	plywood sheathing	no measurable leakage
38 mm	extruded polystyrene	no measurable leakage
25.4 mm	foil-back urethane insulation	no measurable leakage
24 mm	phenolic insulation board	no measurable leakage
42 mm	phenolic insulation board	no measurable leakage
12.7 mm	cement board	no measurable leakage
12.7 mm	foil-back gypsum board	no measurable leakage
8 mm	plywood sheathing	0.0067

16 mm	waferboard	0.0069
12.7 mm	gypsum board (MIR)	0.0091
11 mm	waferboard	0.0108
11 mm	spunbonded olefin film	0.130
12.7 mm	particle board	0.0155
	reinforced nonperforated polyolefin	0.0195
12.7 mm	gypsum board	0.0196
15.9 mm	particle board	0.0260
3.2 mm	tempered hardboard	0.0274
	expanded polystyrene type 2	0.1187
30 lb	roofing felt	0.1873
15 lb	non-perforated asphalt felt	0.2706
15 lb	perforated asphalt felt	0.3962
	glass-fiber rigid insulation board with a spunbonded olefin film on one face	0.4880
11 mm	plain fiber board	0.8223
11 mm	asphalt-impregnated fiber board	0.8285
	perforated polyethylene #1	4.0320
	perforated polyethylene #2	3.2307
	expanded polystyrene (type 1)	12.2372
	tongue-and-groove planks	19.1165
	glass-fiber insulation	36.7327
	vermiculite insulation	70.4926
	cellulose insulation	86.9457

## WIND RESISTANCE

The results of the tests provide some guidance to designers in choosing materials to create an effective air barrier. But the selection of air-impermeable materials is not the only criterion that must be considered. The materials chosen must also be joined to make up an assembly and that can be difficult. Many of these materials do not join efficiently because they are slippery and difficult to work with or because they lack strength when combined into an assembly.

The ability to combine materials into a strong assembly is particularly important. Since the assembly must resist air flow, it must therefore resist wind (movement of air) and further, must be able to resist winds that may be extremely strong. Once an assembly with poor wind resistance opens up, its effectiveness as an air barrier is gone forever.

CMHC commissioned the NRC to test a variety of air-barrier assemblies to the wind loads specified in the National Building Code of Canada (NRC 1988). The code requires wall assemblies to resist for one hour the type of wind load that is likely to occur once in 30 years. In Ottawa, for example, this worst-case sustained wind load is 400 Pa.

The code requires the materials to resist even higher loads when sustained for only a few seconds, so the tests also simulated the effect of a strong gust of wind. The required gust load is two-and-a-half times the sustained load; in Ottawa, the level required would be about 1000 Pa.

The apparatus used in these tests is a large pressure box, about two and a half meters square, in which a positive or negative pressure could be applied to the assemblies being tested, simulating either a wind pushing on the building or a partial vacuum that pulls against the wall.

In these tests, the material being tested was installed, complete with studs, as if it was being used in a house. The initial air leakage at 75 Pa was measured. Then the material was subjected to a sustained load of 250 Pa. At the end of one hour, the pressure was reduced to 75 Pa and the leakage rate measured again. Any changes in the leakage rate indicated damage to the material. Materials that survived a 250-Pa load unscathed were tested again at 500 Pa, 750 Pa, and 1000 Pa.

Similar tests were conducted to measure the materials' resistance to gust loads. Test samples were subjected to a load of 1500 Pa for a few seconds, then tested for leakage at 75 Pa. The tests were then repeated at 2000 Pa and 2500 Pa.

The same series of tests were repeated, using negative pressure (see Table 3).

Table 3: RESULTS OF WIND RESISTANCE TESTING

ASSEMBLY	INITIAL AIR LEAKAGE AP=75Pa (L/s-m <sup>2</sup> )	Sustained Load Test (Pa)	Gust Load Test (Pa)
Spray applied polyurethane	0.02	1000 (POS/NEG)	2500 (POS/NEG)
Polyethylene film sandwich between fiberboard/drywall	0.005	1000 (POS/NEG)	2500 (NEG) 1500 (POS)
Exterior insulating finish systems	0,002	1000 (POS/NEG)	2500 (POS/NEG)
Gypsum board	0,002	1000 (POS/NEG)	2500 (NEG) 1800 (POS)
Plywood	0,004	1000 (POS/NEG)	2500 (POS/NEG)
Exterior drywall peel and stick membrane on joints	0,0157	1000 (POS/NEG)	2500 (NEG) 2300 (POS)
Extended Polystyrene	0	1000 (POS/NEG)	2500 (NEG) 2000 (POS)
Phenolic Insulation	0,0003	1000 (NEG) 500 (POS)	25000 (NEG) -
Polyolifilm between furring strips and fiberboard	0,5	1000 (NEG/POS)	1500 (POS/NEG)
Polyolifilm on fibrous insulation	0,3	1000 (NEG)	2500 (NEG)

CMHC performed similar tests on concrete-block walls similar to those commonly used in high-rise buildings (CMHC 1989). The first round of tests involved walls without any special air-tightening systems. An example of this is a plain block wall.

We built another wall that was four by four and had brick ties in it.

Then we built a gap wall that had a hole in it, not going right through the blocks, but just on the surface. We wanted to see if the material could span a crack in the blocks. When concrete block needs steel beams, steel columns, or slabs, there is always a crack because you can't get the block 100% tight--nor do you want it 100% tight because you want to allow for some expansion.

When testing a concrete block wall without any membranes, there was quite a bit of leakage through it. The result was 1.2 L/s-m<sup>2</sup>, which, since we are looking for a number of .1 L/s-m<sup>2</sup>, is 12 times too much. Results of the testing are listed in Table 4.

Having tested materials and assemblies, the ultimate test is how airtight the finished building will be. Together with NRC, we developed means of testing the whole building for airtightness (CMHC 1989). We have conducted these tests across Canada on buildings to see if the buildings are airtight; unfortunately, the old buildings, especially high-rises, are not airtight at all. They range from 2 L/s-m<sup>2</sup> to 7 L/s-m<sup>2</sup>.

## **CONCLUSION**

Because we have airtight materials and because we have the technology, it is practicable to produce buildings that are airtight. CMHC wants to get this information to designers and practitioners in the interests of better quality housing.

## **References**

NRC (National Research Council of Canada) 1984, **Humidity condensation and ventilation in housing, NRC 23293.**

NRC (National Research Council of Canada) 1989, **An air barrier for the building envelope, NRC 29943.**

CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1990, **Criteria for the air leakage characteristics of building envelopes.**

CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1988, **Air permeance of building materials.**

CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1988, **Testing of air barrier systems for wood frame walls.**

CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1989, **The development of test procedures and methods to evaluate air barrier membranes for masonry walls.**

CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1989, **Establishing the protocol for measuring air leakage and air flow patterns in high-rise apartment buildings.**

**TABLE 4: RESULTS OF CONCRETE BLOCK AIR BARRIER MEMBRANE TESTING**

SAMPLE NO.	BLOCK WALL MEMBRANE	MEMBRANE APPLICATION	INITIAL AIR LEAKAGE L/s-m2 Calculated	POST GUST AIR LEAKAGE L/s-m2 Measured	AIR BARRIER DELAMINATION (%)Measured	POST SUSTAINED AIR LEAKAGE (L/s-m2) Measured	DELAMINATION (%)Measured
	DESCRIPTION & NO		P=75 PASCALS	P=75 PASCALS		P=3000 Pa	P=75 Pa SUST/(TOTAL)
0	Brick Tie Wall	No Membrane	11956.3E-04				
1	Plain Wall	Thermofused	3.82E-04	2.50E-04	6.57	3.50E-04	7.42/(13.99)
	Brick Tie Wall	Thermofused	196.0E-04	200.2E-04	7.43	202.0E-04	0.00/(7.43)
	Gap Wall	Thermofused	Non-Detect.	Non-Detect.	2.11	Non-Detect.	0.00/(2.11)
2	Plain Wall	Thermofused	1.16E-04	Non-Detect.	0.00	08E-04	0.00/(0.00)
	Brick Tie Wall	Thermofused	8.65E-04	12.3E-04	0.00	8.4E-04	8.32/(8.32)
	Gap Wall	Thermofused	Non-Detect.	Non-Detect.	0.00	Non-Detect	0.00/(0.00)
3	Plain Wall	Thermofused	Non-Detect.	Non-Detect.	0.00	Non-Detect.	3.74/(3.74)
	Brick Tie Wall	Thermofused	121.4E-04	125.1E-04	0.00	126.1E-04	0.00/(0.00)
	Gap Wall	Thermofused	Non-Detect.	Non-Detect.	0.00	Non-Detect.	2.00/(2.00)
4	Plain Wall	Thermofused	Non-Detect.	Non-Detect.	5.90	Non-Detect.	35.86/(41.76)
	Brick Tie Wall	Thermofused	214.6E-04	254.0E-04	0.00	230.0E-04	3.80/(3.80)
	Gap Wall	Thermofused	Non-Detect.	Non-Detect.	3.06	Non-Detect.	29.67/(32.73)
5	Plain Wall	Adhesive	25.5E-04	50.8E-04	-40.00	266.0E-04	-60.00/(100)
	Brick Tie Wall	Adhesive	Pretest Failure	Pretest Fail	100.00	Pretest Fail	100.00
	Gap Wall	Adhesive	Pretest Failure	Pretest Fail	100.00	Pretest Fail	100.00
6	Plain Wall	Adhesive	4.33E-04	5.80E-04	-0.5	2.70E-04	-05/( 1)
	Brick Tie Wall	Adhesive	489.5E-04	507.2E-04	0.00	541.1E-04	0.00/(0.00)
	Gap Wall	Adhesive	3.87E-04	4.40E-04	0.00	5.40E-04	0.00/(0.00)
7	Plain Wall	Adhesive	2.92E-04	Non-Detect.	0.00	Non-Detect.	0.00/(0.00)
	Brick Tie Wall	Adhesive	225.6E-04	237.0E-04	0.00	237.0E-04	0.00/(0.00)
	Gap Wall	Adhesive	3.72E-04	3.40E-04	0.00	71.0-138E-04	0.00/(0.00)
8	Plain Wall	Adhesive	N.D.	Non-Detect.	2.15	Non-Detect	19.50/(21.65)
	Brick Tie Wall	Adhesive	270.6E-04	285.2E-04	17.14	2488.3E-04	40.99/(58.13)
	Gap Wall	Adhesive	Non-Detect.	4.8E-04	9.10	5.1E-04	27.36/(36.46)
9	Plain Wall	Trowel	85.2E-04	26.3E-04	0.00	Non-Detect.	0.00/(0.00)
	Brick Tie Wall	Trowel	28.1E-04	19.9E-04	0.00	11.8E-04	0.00/(0.00)
	Plain Wall	Trowel	11.6E-04	7.70E-04	0.00	9.1E-04	0.00/(0.00)
10	Brick Tie Wall	Trowel	451.6E-04	329.7E-04	0.00	267.6E-04	0.00/(0.00)
	Plain Wall	Trowel	431.3E-04	431.3E-04	0.00	448.0E-04	0.00/(0.00)
11	Brick Tie Wall	Trowel	16.3E-04	23.7E-04	0.00	22.8E-04	1.0/ 1.0)
	Gap Wall	Trwl/Sht	13.3E-04	23.2E-04	16.00	5151.7E-04	29.70/(45.70)
12	Plain Wall	Trowel	169.7E-04	211.3E-04	0.00	258.2E-04	0.57/(0.57)



SAMPLE NO.	BLOCK WALL MEMBRANE	MEMBRANE APPLICATION	INITIAL AIR LEAKAGE L/s-m2 Calculated	POST GUST AIR LEAKAGE L/s-m2 Measured	AIR BARRIER DELAMINATION (%)Measured	POST SUSTAINED AIR LEAKAGE (L/s-m2) Measured	DELAMINATION (%)Measured
	DESCRIPTION & NO		P=75 PASCALS	P=75 PASCALS		P=3000 Pa	P=75 Pa SUST/(TOTAL)
	Brick Tie Wall	Trowel	1934.7E-04	1823.0E-04	0.5	1908.0E-04	0.5/( 0.5)
13	Plain Wall	Mechanical	24.4E-04	20.0E-04	0.00	19.0E-04	0.00/(0.00)
	Brick Tie Wall	Mechanical	69.8E-04	77.0E-04	0.00	77.0E-04	0.00/(0.00)
	Gap Wall	Mechanical	4.38E-04	10.1E-04	0.00	96.0E-04	96.0E-04
14	Plain Wall	Mechanical	70.2E-04	71.0E-04	0.00	70.3E-04	0.00/(0.00)
	Gap Wall	Mechanical	58.0E-04	50.9E-04	0.00	50.1E-04	0.00/(0.00)
15	Plain Wall	Spry Applied	Non-Detect.	Non-Detect.	0.00	Non-Detect.	0.00/(0.00)
16	Plain Wall	Spry Applied	3.46E-04	5.8E-04	0.00	3.5E-04	0.00/(0.00)
17	Plain Wall	Spry Applied	Non-Detect.	Non-Detect.	0.00	Non-Detect.	0.00/(0.00)

# 効果的エアバリアの構築 — 材料と技法

Jacques Rousseau

Canada Mortgage and Housing Corporation  
700 Montreal Road, Ottawa ON K1A 0P7

## 1. 漏気

エアバリア方式（気密層）の採用により漏気を調整することができる。この方式は、壁・屋根・基礎といった家屋の外枠を構成する壁体を連続して覆う気密システムである。エアバリアが効果を持つには、次の4つの条件を満たさなければならない。

- 空気が浸透しない。
- 構造材又は硬質材を使用している。
- 隙間がない。
- 耐久性又は持続性がある。

エアバリア方式の最も重要な機能は空気流動を防ぐことであるため、材料・組立材の空気流特性は低くなければならない。またエアバリア方式は、強い風圧になり得る風の影響に抵抗できるだけでなく、建物の耐久年数以上の耐久性がなければならない。さらに、建築物の外周に隙間の無い壁体を作り上げる必要がある。これらの基準をすべて満たすエアバリアであれば、漏気を効果的に防衛できると考えられる。

漏気には数種類ある。建材自体を通る漏気は拡散流と呼ばれる。たとえば、コンクリートブロックは多孔質であるため気密性はない。

オリフィス流とは、窓枠や電気配線の取付具などの開口部から出る空気流のことである。空気は直接噴出し、屋外に出るまで温度は下がらず湿気を屋内に残すことはないため、通常、オリフィス流は湿気の問題（建築物の外に氷柱を生じることもある）を起こす大きな原因とはならない。外観上好ましくはないが、一般に建築物の構造に何ら問題を与えることはない。

逆に、漏気の中で最も建築物に損傷を与えるのはチャネル流である。空気は壁に浸透し、外に出るまでしばらく室内に残る。空気が移動するにつれてその温度が低下し、湿気が壁内部に結露する。

漏気が少ない方が望ましいことは明らかである。しかしながら、完全な気密性を維持することは不可能ではないが困難なため、ここで問題となるのは空気流の最大許容値をどう定義するかである。

カナダ国家研究会議（NRC: National Research Council of Canada）は、既存の漏気研究に関する調査報告書の中でこの問題点について触れている（NRC, 1989）。そこで検討された規格に、建築用アルミ材製造者協会（AAMA: American Architectural Manufacturers' Association）の「アルミカーテンウォール設計マニュアル」がある。このAAMA規格では、気圧75Paでの最大漏気許容量を $0.3 \text{ L/s-m}^2$ に定めている。

AAMA規格をベースに検討を始めることは有益ではあっても、カナダの住宅における漏気問題にそのまま適用できるものではない。この規格は新しいオフィスビルの多くに使用されているガラス

の壁であるカーテンウォールに適用される。カーテンウォールには主にガラスや金属などの気密材料が使われているためチャネル流は生じない。また、AAMA 規格は一般にカナダの気候よりは温暖である米国を対象として規定されたものである。

カナダのより厳しい気象条件を考慮した上で、NRC は先述の調査報告書において許容値を 0.2 下げることになっている。また、NRC は漏気許容量が室内の相対湿度によって左右されることを確認している。

倉庫など湿度の低い建築物（0～27%の相対湿度）に関しては、NRC は最大漏気許容量を  $0.15 \text{ L/s-m}^2$  とした。ほとんどの住宅のように相対湿度が 25～50%の場合、漏気量は  $0.10 \text{ L/s-m}^2$  を超えないものとしている。美術館、コンピューター室、博物館、病院など室内湿度が高い場所では（50%以上の相対湿度）、最大漏気許容量は  $0.05 \text{ L/s-m}^2$  となっている。

NRC の調査報告書が発表されて以来、カナダモーゲージ住宅社（CMHC: Canada Mortgage and Housing Corporation）は、さらに科学的かつ具体的方法で漏気許容量の問題究明にあたっている。

漏気許容量は様々な要因に依存することを前提に CMHC の研究は行われている。その一つが気候であり、オンタリオ州南部の比較的温暖な地域には適していてもジェームズ湾のような地域には適さないことがある。また許容量は室内相対湿度や建築材料によっても影響される。たとえば、コンクリート壁は木製壁に比べて湿気による影響を受けにくい。

そこで、コンピュータープログラムを開発し、これらの変動要因を考慮できるようにした。このプログラムを使用すると様々な壁組立材や気候を組み込んだ最大漏気値を決定することができる。一部の例を表 1 に示す。

表 1 各壁部材と気候の最大漏気許容率

壁体構成と材料	都市	最大漏気値 ( $\text{L/s-m}^2$ )
① 石膏ボード	トロント	0.30
② ウェハーボード	エドモントン	0.22
③ ハードボード	バンクーバー	0.38
① 石膏ボード	トロント	0.67
② 断熱材	ウィニペグ	0.44
③ 石膏下地板	エドモントン	0.57
④ レンガ	バンクーバー	0.94
① 石膏ボード	トロント	0.08
② 断熱材	ウィニペグ	0.06
③ ガラス繊維	エドモントン	0.07
④ ハードボード	バンクーバー	0.08
① 石膏ボード	トロント	0.08
② 断熱材	ウィニペグ	0.06
③ ポリスチレン	エドモントン	0.07
④ ハードボード	バンクーバー	0.08

## 2. エアバリア

エアバリア方式は組立材を作り上げる材料で構成されている。つまり、これらの材料を接合させてエアバリア方式を作る。したがって、使用材料が空気を浸透させてしまうようであれば欠陥となる。一般に使用されている多くの建材で効果的なエアバリアを作ることは可能であるが、できないものも多く、どの組み合わせがよいかを知ることが不可欠である。この情報を得るため、数年前に研究プロジェクトが行われた (CMHC, 1988)。

40 種類の建材を標準温度・湿度下にて試料調整した後、試料を試験装置に取り付けた。この装置というのは金属の箱であるが、加圧、減圧を行うことによってどの方向からでも試料を通風することが可能で漏気量を記録できる (表 2 参照)。

表 2 各種建材の漏気率

厚 み	材 料	(L/s. m <sup>2</sup> )
2.0 mm	平滑屋根材	測定されず
2.7 mm	改質ビチューメンメンブレントーチ (ガラス繊維マ	測定されず
1.3 mm	改質ビチューメン粘着膜	測定されず
2.7 mm	改質ビチューメンメンブレントーチ (強化ポリエス	測定されず
9.5 mm	合板下地板	測定されず
38 mm	押出し成形ポリスチレン	測定されず
25.4 mm	ホイル裏打ウレタン断熱材	測定されず
24 mm	フェノール樹脂断熱ボード	測定されず
42 mm	フェノール樹脂断熱ボード	測定されず
12.7 mm	セメントボード	測定されず
12.7 mm	ホイル裏打石膏ボード	測定されず
8 mm	合板下地	0.0067
16 mm	ウエハーボード	0.0069
12.7 mm	石膏ボード (MIR)	0.0091
11 mm	ウエハーボード	0.0108
11 mm	スパンボンドオレフィンフィルム	0.1300
12.7 mm	パーティクルボード	0.0155
	強化非多孔質ポリオレフィン	0.0195
12.7 mm	石膏ボード	0.0196
15.9 mm	パーティクルボード	0.0260
3.2 mm	熱処理硬質繊維板	0.0274
	発泡ポリスチレン 2 種	0.1187
30 lb	ルーフィングフェルト	0.1873
15 lb	非多孔質アスファルトフェルト	0.2706
15 lb	多孔質アスファルトフェルト	0.3962
	片面スパンボンドオレフィンフィルム付きガラス織	0.4880
11 mm	一般用ファイバーボード	0.8223
11 mm	アスファルト合浸ファイバーボード	0.8285
	多孔質ポリエチレン 1 号	4.0320
	多孔質ポリエチレン 2 号	3.2307
	発泡ポリスチレン 1 種	12.2372
	さねはぎ床板	19.1165
	ガラス繊維断熱材	36.7327
	蛭石断熱材	70.4926
	セルロース断熱材	86.9457

### 3. 耐風性

試験結果によって効果的なエアバリア作りに適切な材料選択の際の指針が設計者に示された。しかし空気が浸透しない材料の選択だけを基準にすればよいわけではない。選択された材料は組立材を作るために接合せねばならず、それが難しい場合もある。多くの材料はその滑りやすさから扱いにくい、あるいは組立材になった時に強度が確保されないため、うまく接合させることができない。よって、材料を組み合わせる強い部材を作り上げることが特に重要になる。部材は空気流に抵抗しなければならないため、風（空気の移動）、さらに強風にも耐え得る必要がある。耐風性の低い部材に隙間ができるとエアバリアとしての効果はまったく無くなってしまう。

CMHC はカナダ国内建築物法規に規定された風力荷重に関してエアバリア組立材を試験するよう NRC に委託した (NRC, 1988)。法規では壁組立材が 30 年に一度起こると予想される風力荷重に 1 時間耐えることを要求している。最悪の場合、持続的な風力荷重は、たとえばオタワでは 400 Pa に相当する。

また、同法規では数秒間持続するようなさらに高い過重にも材料が耐え得ることを要求しているため、強い突風のシュミレーションも行われた。突風荷重は持続荷重の 2.5 倍に相当し、オタワの場合 1000 Pa になる。

試験には約  $2.5\text{m}^2$  の大型圧力容器を使用し、試料の部材に正圧・負圧をかけ、建築物に吹き付ける風あるいは壁面を引っ張る部分的な真空状態のいずれかをシミュレートした。

試験材料についてはすべて実際の住宅に使用されているのと同様、間柱も一緒に取り付けられた。初期漏気測定値は 75 Pa であった。次に、材料に 250 Pa の持続荷重を与えた。一時間経ったところで、75 Pa まで減圧し再び漏気量を測定した。漏気量変化によって材料の損傷の度合いが示された。250 Pa の荷重下で無傷であった材料についてさらに 500 Pa、750 Pa、1000 Pa の荷重試験を行った。

同様の試験を行い、突風荷重に対する材料の耐久性を測定した。数秒間 1500 Pa の荷重を試料に与えた後、荷重 75 Pa で漏気を調べた。その後、荷重 2000 Pa、2500 Pa で繰り返し試験を行った。さらに負圧下でこの一連の試験を繰り返し行った (表 3 参照)。

MHC は高層ビルに通常使用されるものと同様のコンクリートブロック壁において同じ試験を実施した (CMHC, 1989)。試験の第一段階では特別な気密システムのない壁 (例: 普通ブロック壁) を使用した。別に 4x4 のウォールタイ使用レンガ壁 (壁繋金物を使ったレンガ壁) を作った。

さらにブロックを貫通させず表面だけに一つ穴を開けた空隙壁を作った。ここでは材料がブロックにまで亀裂を生じさせるのかどうかを確認する。コンクリートブロックに鉄骨梁、鋼柱、スラブが必要な場合、必ず亀裂が生じる。完全に目の詰まったブロックの入手は不可能であり、多少の膨張を考慮すると完全に目が詰まっている必要がないためである。

膜 (メンブレン) なしのコンクリートブロック壁を試験したところ、かなりの漏気量が検出された。結果は  $1.2\text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  で、 $0.1\text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  を基準に考えるとこの数値は 12 倍に相当する。表 4 に試験結果を示す。



表3 耐風性試験結果

組立材	初期漏気 AP=75Pa (L/s-m <sup>2</sup> )	持続荷重試験 (Pa)	突風荷重試験 (Pa)
吹付ポリウレタン	0.02	1000 (+/-)	2500 (+/-)
ファイバーボード・ドライウォール間ポリエチレンフィルム	0.005	1000 (+/-)	2500 (-) 1500 (+)
外断熱仕上材	0.002	1000 (+/-)	2500 (+/-)
石膏ボード	0.002	1000 (+/-)	2500 (-) 1800 (+)
合板	0.004	1000 (+/-)	2500 (+/-)
ジョイント部膜貼付乾式外壁	0.0157	1000 (+/-)	2500 (-) 2300 (+)
延伸ポリスチレン	0	1000 (+/-)	2500 (-) 2000 (+)
フェノール樹脂断熱材	0.0003	1000 (-) 500 (+)	25000 (-) -
胴縁・ファイバーボード間ポリオールフィルム	0.5	1000 (+/-)	1500 (+/-)
繊維断熱材ポリオールフィルム	0.3	1000 (-)	2500 (-)

材料と組立材の試験を行った後、最終段階として完成した建築物の気密性を試験する。NRC と共同で建築物全体の気密性を試験する方法を開発した (CMHC, 1989)。カナダ全土にわたってこの試験を実施し、建築物の気密性を調査した。古い建築物、とりわけ高層建築物の気密性はかなり低く、漏気量は  $2 \text{ L/s-m}^2 \sim 7 \text{ L/s-m}^2$  であった。

#### 4. あとがき

気密材料とテクノロジーがある現在、高气密建築物を建設することは可能である。CMHC はさらに高品質の住宅を目指して、この情報を設計者および建設業者に提供していく意向である。

#### 参考文献

1. NRC (National Research Council of Canada) 1984, Humidity condensation and ventilation in housing, NRC 23293.
2. NRC (National Research Council of Canada) 1989, An air barrier for the building envelope, NRC 29943.
3. CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1990, Criteria for the air leakage characteristics of building envelopes.
4. CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1988, Air permeance of building materials.
5. CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1988, Testing of air barrier systems for wood frame walls.
6. CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1989, The development of test procedures and methods to evaluate air barrier membranes for masonry walls.
7. CMHC (Canada Mortgage & Housing Corporation) 1989, Establishing the protocol for measuring air leakage and air flow patterns in high-rise apartment buildings.
8. high-rise apartment buildings.

表4 コンクリートブロック・エアバリア膜の試験結果

No.	ブロック壁種類	取付方法	初期漏気量計 算値 (L/s・m <sup>2</sup> )		突風荷重漏気量 測定値 (L/s・m <sup>2</sup> )	エアバリア 剥離量 測定値 (%)	持続荷重漏気量 測定値 (L/s・m <sup>2</sup> )		剥離量測定値 (%) 持続荷重(合計)
			P=75 Pa				P=3000 Pa		
0	ウォールタイ使用レンガ壁	使用せず	11956.3E-04	—	—	—	—	—	—
1	普通壁	熱溶解	3.82E-04	2.50E-04	2.50E-04	6.57	3.50E-04	7.42(13.99)	0.00(0.00)
	ウォールタイ使用レンガ壁	熱溶解	196.0E-04	200.2E-04	200.2E-04	7.43	202.0E-04	202.0E-04	0.00(7.43)
2	空隙壁	熱溶解	検出されず	検出されず	検出されず	2.11	検出されず	検出されず	0.00(2.11)
	普通壁	熱溶解	1.16E-04	検出されず	検出されず	0.00	08E-04	08E-04	0.00(0.00)
3	ウォールタイ使用レンガ壁	熱溶解	8.65E-04	12.3E-04	12.3E-04	0.00	8.4E-04	8.32(8.32)	0.00(0.00)
	空隙壁	熱溶解	検出されず	検出されず	検出されず	0.00	検出されず	検出されず	0.00(0.00)
4	普通壁	熱溶解	検出されず	検出されず	検出されず	0.00	検出されず	検出されず	0.00(0.00)
	ウォールタイ使用レンガ壁	熱溶解	121.4E-04	125.1E-04	125.1E-04	0.00	126.1E-04	126.1E-04	0.00(0.00)
5	空隙壁	熱溶解	検出されず	検出されず	検出されず	0.00	検出されず	検出されず	0.00(0.00)
	普通壁	熱溶解	検出されず	検出されず	検出されず	5.90	230.0E-04	230.0E-04	35.86(41.76)
6	ウォールタイ使用レンガ壁	熱溶解	214.6E-04	254.0E-04	254.0E-04	0.00	検出されず	検出されず	3.80(3.80)
	空隙壁	熱溶解	検出されず	検出されず	検出されず	3.06	検出されず	検出されず	29.67(32.73)
7	普通壁	接着	25.5E-04	50.8E-04	50.8E-04	-40.00	266.0E-04	266.0E-04	-60.00(100)
	ウォールタイ使用レンガ壁	接着	予備試験ミス	予備試験ミス	予備試験ミス	100.00	予備試験ミス	予備試験ミス	100.00
8	空隙壁	接着	予備試験ミス	予備試験ミス	予備試験ミス	100.00	予備試験ミス	予備試験ミス	100.00
	普通壁	接着	4.33E-04	5.80E-04	5.80E-04	-0.5	2.70E-04	2.70E-04	-05/(1)
9	ウォールタイ使用レンガ壁	接着	489.5E-04	507.2E-04	507.2E-04	0.00	541.1E-04	541.1E-04	0.00(0.00)
	普通壁	接着	3.87E-04	4.40E-04	4.40E-04	0.00	5.40E-04	5.40E-04	0.00(0.00)
10	空隙壁	接着	2.92E-04	検出されず	検出されず	0.00	検出されず	検出されず	0.00(0.00)
	普通壁	接着	225.6E-04	237.0E-04	237.0E-04	0.00	237.0E-04	237.0E-04	0.00(0.00)
11	ウォールタイ使用レンガ壁	接着	3.72E-04	3.40E-04	3.40E-04	0.00	71.0-138E-04	71.0-138E-04	0.00(0.00)
	普通壁	接着	検出されず	検出されず	検出されず	2.15	検出されず	検出されず	19.50(21.65)
12	ウォールタイ使用レンガ壁	接着	270.6E-04	285.2E-04	285.2E-04	17.14	2488.3E-04	2488.3E-04	40.99(58.13)
	空隙壁	接着	検出されず	4.8E-04	4.8E-04	9.10	5.1E-04	5.1E-04	27.36(36.46)
13	普通壁	金ごて	85.2E-04	26.3E-04	26.3E-04	0.00	検出されず	検出されず	0.00(0.00)
	ウォールタイ使用レンガ壁	金ごて	28.1E-04	19.9E-04	19.9E-04	0.00	11.8E-04	11.8E-04	0.00(0.00)
14	普通壁	金ごて	11.6E-04	7.70E-04	7.70E-04	0.00	9.1E-04	9.1E-04	0.00(0.00)
	ウォールタイ使用レンガ壁	金ごて	451.6E-04	329.7E-04	329.7E-04	0.00	267.6E-04	267.6E-04	0.00(0.00)
15	普通壁	金ごて	431.3E-04	431.3E-04	431.3E-04	0.00	448.0E-04	448.0E-04	0.00(0.00)
	ウォールタイ使用レンガ壁	金ごて	16.3E-04	23.7E-04	23.7E-04	0.00	22.8E-04	22.8E-04	1.0/1.0
16	空隙壁	金ごて	13.3E-04	23.2E-04	23.2E-04	16.00	5151.7E-04	5151.7E-04	29.70(45.70)
	普通壁	金ごて	169.7E-04	211.3E-04	211.3E-04	0.00	258.2E-04	258.2E-04	0.57(0.57)
17	ウォールタイ使用レンガ壁	機械	1934.7E-04	1823.0E-04	1823.0E-04	0.5	1908.0E-04	1908.0E-04	0.5/(0.5)
	普通壁	機械	24.4E-04	20.0E-04	20.0E-04	0.00	19.0E-04	19.0E-04	0.00(0.00)
18	ウォールタイ使用レンガ壁	機械	69.8E-04	77.0E-04	77.0E-04	0.00	77.0E-04	77.0E-04	0.00(0.00)
	空隙壁	機械	4.38E-04	10.1E-04	10.1E-04	0.00	96.0E-04	96.0E-04	96.0E-04
19	普通壁	機械	70.2E-04	71.0E-04	71.0E-04	0.00	70.3E-04	70.3E-04	0.00(0.00)
	空隙壁	機械	58.0E-04	50.9E-04	50.9E-04	0.00	50.1E-04	50.1E-04	0.00(0.00)
20	普通壁	吹付け塗	検出されず	検出されず	検出されず	0.00	検出されず	検出されず	0.00(0.00)
	ウォールタイ使用レンガ壁	吹付け塗	3.46E-04	5.8E-04	5.8E-04	0.00	3.5E-04	3.5E-04	0.00(0.00)
21	普通壁	吹付け塗	検出されず	検出されず	検出されず	0.00	検出されず	検出されず	0.00(0.00)

# Hygrothermal properties of walls in summer conditions and their evaluation

Haruki OSAWA and Hironao SETO  
Dept. of Environment, Design and Fire  
Building Research Inst., MOC  
1 Tateihara, Tsukuba, Ibaraki

Hiroataka SUZUKI  
Construction Development Section  
Cold Region Housing and Urban Research Inst.  
4-1-8 Nijushiken, Nishi-ku, Sapporo, Hokkaido

## 1. Introduction

It has been known that, in moderate climates, cooling systems are widely used and continuously operated, exerting significant impact on the hygrothermal environment inside building structures. Most of previous studies, however, focused on condensation in winter/cold climates. This is because the thermal insulation and airtightness specifications were disseminated earlier in such climates, and their unexpected adverse effects due to "winter-type condensation" occurred prior to problems of "summer-type condensation". Only a few reports address such condensation under temperature conditions across an envelope that is inverse to that in winter, while considering characteristics of the moderate climate notably different in terms of not only outdoor environmental conditions, but also the construction method, life (cooling) habits, and people's behavior toward the environment. It can be said that this fact, together with insufficient knowledge on the actual state and mechanism of condensation, hinders wider use of thermal insulation and airtightness specifications.

The authors were interested in various effects of higher requirements such as thermal insulation and airtightness, and of environmental changes due to wider application of such specifications in moderate climates, and to wide-spread use of cooling systems. In this context, the authors reported in the Second and Third Canada/Japan Housing R&D Workshops the performance requirements of a wooden wall structure and the status-quo of applicable technologies, and in the Fourth Workshop reported the external wall design concept and the environment/performance inside the wall [1,2,3]. As is known from implementation of the next-generation energy code, the envelope in Japan is expected to meet higher and diversified performance requirements (decrease in the environmental impact, housing safety, etc.) and to provide the integrity and rationality of the design process. Such needs are strong especially in moderate climates where thermal insulation and airtightness have found rapidly increasing application to ensure energy conservation and improvement of indoor environment. So prompt solutions for meeting these needs are required.

This paper discusses the results of the full scale model experiment in 1998, which is part of test series with different specifications of specimens since 1996 and comparative study on three years' test results involving ten different specifications. In addition, the progress in evaluation of condensation prevention performance, such as evaluation by fungal index, is also addressed here.

## 2. Overview of the steady state experiment in 1998

### 1) *Purpose and method*

For wall constructions, it is essential to control moisture inside walls for fully enjoying their function, as

discussed in the previous papers by the authors; specifically, the airtightness of the building structure and opening of the back space of the envelope are fundamental considerations for the external wall water proofing, and ventilated air space is effective for quickly removing the moisture contained inside walls immediately after completion of the building [1,2].

With regard to moderate climates, however, the hygrothermal behavior inside walls in summer and its influence upon the durability have not yet been sufficiently investigated, because its adverse effects seldom attract attention or hardly come to the fore. Accordingly, no common knowledge has been established about the conditions and mechanism of condensation in moderate climates. This is the reason why deliberations on this problem produce, in some cases, no effective conclusions or solutions, and there are also cases where it is difficult to determine what problems in fact exist. Recently, studies for grasping the hygrothermal conditions inside walls in summer by numerical analysis have been implemented successfully. There remain, however, problems to be tackled. It is vital to find solutions as soon as possible for these problems in order to develop more reliable numerical analysis techniques, and to determine practical measures on the basis of comparison with actual buildings.

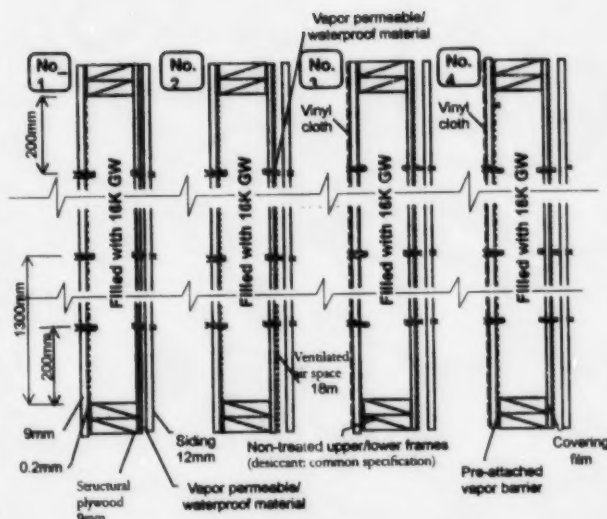


Fig. 1 Section of test specimen walls in 1998

(X: temperature, O: humidity, □: water content)

Table 2 Comparison of specifications and layer composition of test specimens

	1996				1997				1998			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Interior finish	None				Vinyl cloth		None		Vinyl cloth			
Indoor side substrate	Gypsum board 0.2mm				Gypsum board 9mm							
Indoor side vapor barrier	PE (polyethylene sheet 0.2 mm) field-applied				Vapor permeable/ storm protection sheet	Asphalt impreg- nated felt	PE w/ openings	PE (0.2 mm) field-applied	None	PE pre- attached		
Thermal insulation	Glass wool (16K) filling									(w/covering film)		
Upper/lower frame moisture barrier	w/vapor barrier		None		w/vapor barrier				None			
Outdoor side substrate	Structural plywood	None	Structural plywood (coniferous wood)									
Outdoor side protection	Vapor permeable/storm protection sheet											
Ventilated air space	None	Provided (18mm)						None	Provided (18mm)			
Exterior finish	Ceramic siding (12 mm)											



Under the circumstances, aiming at presenting design requirements for durability of insulated walls in moderate climates, the authors planned to conduct a laboratory experiment simulating the conditions of actual wooden external walls and outside climate conditions, to obtain knowledge on the moisture behavior inside insulated walls in summer and variation in water content of wood. Specifically, the following were expected of this experiment:

- to obtain fundamental knowledge of the effective measures of insulated walls in summer through comparison of moisture properties of each external wall component and variation of water content in wood members,
- to collect highly reliable experimental results, which will be used for developing numerical computation techniques more accurate and reproducible than current techniques.

The experiment reported in this paper is part of the study discussed in the previous paper [3] and in the framework of "Committee for condensation prevention techniques for insulated walls in the moderate climate" [5]. To ensure consistency with the previous experiment series, data were collected, simulating equilibrium inside insulated walls under high temperature high humidity conditions in summer, and the initial purpose, that is, to confirm phenomena inside walls, is maintained. The experiment method (inside temperature and humidity being kept constant, daily periodic variation on the outside simulated, heating equivalent to solar radiation), and facilities and measuring instruments (environmental test building in Building Research Institute: heat transfer laboratory) are almost the same as those in the previous experiments.

## *2) Experiment conditions and specifications of test specimens*

The main changes consist in specifications of the specimens. The climatic conditions provided in the experiment are shown in Table 1; for the outside temperature, the daily variation was simulated, which was extracted from climatic data of Fukuoka; for the outside humidity, a constant absolute humidity (20g/kg) was given: on the inside, a constant condition of 26°C, 60%RH assuming intense cooler operation was provided. The temperature was measured by Cu-Co thermocouple at 90 points, the humidity by electrostatic capacity type hygrometer at 20 points, the water content by electric resistance type instrument at 20 points. The measured data were recorded at intervals of 10 minutes (for detail, see reference [3]). The technique of simulating solar heating by sinusoidal temperature variation was used as in the tests of the previous years.

The specimens of four different specifications were installed in parallel and subjected to simultaneous experiment, giving due consideration to thermal insulation, vapor barrier and airtightness, to avoid interference between specimens. The common specifications are structural members made of dried material for 2×4, the inside finishing with gypsum boards, the outside finishing with ceramic siding, the wall cavity filled with 16K glass wool. As listed in Table 2, the experiment in 1996 focused on "the effect with/without ventilated air space", "the effect with/without structural plywood", and "the effect with/without vapor absorption/emission of upper and lower frames", the experiment in 1997 focused on "variation of inside vapor permeant resistance", and "comparison of influence of indoor air inflow into wall cavity". In contrast, the research in 1998 is concerned with low vapor permeant resistance on the indoor side (III), which may be advantageous for preventing dew condensation in summer, and pre-attached vapor barrier omitting field application of polyethylene film (IV), to investigate the performance and behavior of the features. The specifications of Specimen I in 1996 are almost the



same as those of II in 1997, and the specifications of Specimen II in 1996 are almost the same as those of II in 1998, except for difference in initial water content and presence of vapor barrier for upper and lower frames. The vinyl cloth of Specimens III and IV was a product available on the market. For the pre-attached vapor barrier and covering film of thermal insulation (perforated film) of Specimen IV, a standard product was purchased from the manufacturer and installed.

### 3. Results and discussion of the periodic steady state experiment

#### 1) *Variation with time of relative humidity and status after four weeks*

Fig. 3 shows the changes of relative humidity on the indoor side of wall inside (at 4:00 and 6:00, average of 6 data taken at 10 minute intervals) at different heights inside wall. The time 4:00 represents the time zone before dawn when the impact of solar heating is the smallest, whereas the time 16:00 represents the time zone around evening when the impact is the largest. In 1998 experiment too, as in the experiments in 1996 and 1997, the relative humidity nearly attained equilibrium after about four weeks. But, a slight increasing trend was found in the lower portion of Specimens I, II and IV. In contrast, with Specimen III, the relative humidity is stable around 60% with very little variation with time, regardless of height and solar heating. This demonstrates that Specimen III was excellent in preventing moisture condensation in summer. Specimen IV too has its indoor side vapor permeant resistance lowered intentionally, but it shows less notable effect than Specimen III. It is necessary to study the possibility of effect exerted by the outdoor side film on vapor permeation.

#### 2) *Change with time of water content and status after four weeks*

As in the experiments in 1996 and 1997, the water content did not attain equilibrium even after four weeks, and increasing trend (except for III) is more significant in the lower portion of vertical frame than in upper portion (Fig. 4). With Specimen III specially designed to prevent summer-type condensation, the water content tended to decrease at upper and middle portions (no measurements at the lower portion). With the other three specimens, a notable increasing trend was found in the lower and middle portions, which shows increasing moisture accumulation. An unexpectedly abrupt increase occurred in Specimen IV. This is a topic to be studied further, with the behavior of humidity variation. In this context, it is necessary to determine the actual air/vapor tightness of covering film and pre-attached vapor barrier (actually, minutely worked on site) on the specimens, and behavior of condensed water and air in cavity which moves due to expansion and shrinkage.

#### 3) *Comparative discussion on the results of experiments for three years*

Fig. 5 illustrates the changes in humidity and water content of the eleven specimens (heat insulating material indoor side portion: 1200 mm high) which were subjected to experiments by almost identical methods. (From just before experiment start to four weeks (at 16:00). There are no measured data of humidity for Specimen II - 1996 and - 1998. The graph is on the raise from the left side (before experiment start) to the right side (after 4 weeks), except for Specimen III - 1998.) The relative humidity varies significantly from one specimen to another; in many cases, it increases from about 50% to 75 - 100%, while in the case of Specimen III - 1998 alone, with a minimized vapor permeant resistance, the relative humidity remains very low. The water content in 1998 starts at the middle level of initial values in 1996 and 1997, and the increase is notable exceeding the maximum in 1997 (2.1% with Specimen I-1997), that is, 2.3% with Specimen I, 2.3% with Specimen II, 2.0% with Specimen IV.

In contrast Specimen III - 1998 alone is stable. It can be rightly said that Specimen III - 1998 is most safe as far as the performance in summer is concerned.

#### **4. Concept of the evaluation of condensation prevention performance and tentative study on evaluation by fungal index [4]**

Through active discussions in the committee mentioned above, the viewpoints on the condensation prevention performance were summarized as follows.

- 1) The condensation prevention performance should be evaluated from the viewpoint of controlling the final damage/risk all the year around (preventing rot).
- 2) Though the judgement of whether or not condensation occurs is important, with such an index alone, the judgment tends to be excessively conservative.
- 3) Since rot is a biological phenomenon, it is necessary to consider fully the long-term hysteresis and short-term deviation in high temperature high humidity climates, for example, in summer in Japan.
- 4) Serious rot does not occur, unless the water content rises and is kept at a high level for a long time.
- 5) Recent numerical calculations provide a prediction with sufficient accuracy for practical use of the hygrothermal environment inside typical envelopes.

Item 1) "damage/risk" has been mainly evaluated under the condition 2) "not allowing condensation", by steady state calculation. However, the prediction accuracy has been enhanced as a result of development of calculation techniques for unsteady heat-moisture simultaneous transfer as mentioned in 5) above. It is therefore natural that some researchers insist "damage/risk" is not suitable as judgement criterion. For example, let us consider two cases under summer conditions with continuous unsteady moisture absorption/emission; i) condensation and drying occur repeatedly in a short time, ii) high temperature/high moisture is maintained for a long time, without condensation. Obviously, the case i) is not necessarily more risky.

It was judged more rational to adopt the viewpoints 3) and 4), and consequently, the members came to an agreement on the policy to consider "risk of biological rot (involving changes with time)" in addition to "long-term trend of water content" and "condensation amount". It is assumed here that primary considerations should be given to architectural/design strategies such as material used and layer composition, not resorting to mechanical equipment, and supposing no rainwater intrusion or leak. As for importance and handling of each of these indices, it should be noted that they tend to vary with material used and climatic conditions of the district concerned. That is to say, the same evaluation scale cannot be used in all cases, when considering, for example, material selection, with or without preservative treatment, habit of cooling that differs from one district to another, influence of solar radiation and outdoor wind. Thus, for the time being, these indices may be no more than temporary reference values. For calculation examples for different specifications, involving "fungal index", see the paper by Tsuchiya.

In this context, the authors decided to conduct a tentative experiment for "fungal index" reflecting time factor (duration of a certain humidity causing deterioration). For this research, 32 fungal sensors were installed on the lower part of each specimen in fiscal 1998 (4 sensors (for different durations) x 4 specimens x 2 kinds (xerophilic, hydrophilic)). The growth of fungi (hypha length) was measured by

taking out the sensors after planned durations, three days, one week, two weeks, and four weeks. The measured lengths are listed in Fig.6. These results show no clear relationship between fungal index and ambient conditions such as temperature and humidity. This indicates that some hindering factors exist, which did not appear in the indoor environment measurements. The possible reason for it is formaldehyde emitted from wooden material (plywood) into wall inside, which is a topic for future investigation.

## 5. Conclusions

Experiments were conducted in succession for obtaining knowledge and confirming the phenomena, on the basis of collaboration with a study simulating heat-moisture simultaneous transfer. Knowledge obtained is concerned with phenomenon model, hygrometric state, variation of water content. Good agreement is found in general between experimental results and numerical simulation results. In future research, the authors will add the results of surveys on damage status to comparative study with numerical simulation, to make a specific proposal for specifications and construction method which reduce potential of condensation in summer.

## Acknowledgement

This study is part of the investigation in the frame work of "Committee for condensation prevention techniques for insulated walls in the moderate climate" [5] subsidized by Ministry of Construction. The authors wish to extend sincerest thanks for their support.

## References

- [1] Osawa "Wall Construction in Warm and Humid Areas; The State of the Art", 2nd Canada/Japan Housing Workshop (in Tsukuba), November 1994
- [2] Suzuki and Fukushima, "The Study on Performance of Exterior Vented Cavity Walls in Cold Region", 3rd Canada/Japan Housing Workshop (in Ottawa), June 1996
- [3] Osawa, Seto, Suzuki "Study on Layer Design of Insulated Walls in Moderate Climate" 4<sup>th</sup> Canada/Japan Housing Workshop (in Sapporo), December 1997
- [4] Index based on length of fungal hypha, proposed by K. Abe, Director General at the Environmental Biological Laboratory. By returning the sensor produced by the laboratory after completion of measurement, the laboratory analyzes the results. In addition, this idea can be applied to calculate the index from hygrothermal data.
- [5] This committee was established and planned to be managed for three years from 1996 in the Institute for Building Energy Conservation for the purpose of studying the design requirements for performance in summer, under subsidy by the Ministry of Construction. The staff members include: Chairman: S. Fujii (emeritus professor of Shibaura Institute of Technology), Vice-chairman: H. Osawa (BRI), members: T. Tsuchiya (Toyo Univ.), T. Sugai (Fukuoka Univ.), T. Ikeda (Kinki Univ.), N. Kamata (Muroran Inst. of Technology), H. Suzuki (CRHURI), M. Sato (BRI/Tokyo University), H. Seto (BRI), Technical committee of the Fiber Glass Association.

Table-1. Experiment Phases and Setting Conditions

\* Outdoor conditions (Temp, Hum and solar radiation) are based on Standard Weather Data in Fukuoka (Large City in Southern part of Japan)

Technical drawing of a four-lane gel electrophoresis apparatus. The drawing shows a rectangular block with four vertical lanes labeled "No. 1", "No. 2", "No. 3", and "No. 4" at the top. On the left side, there are vertical scale markings at 20.0, 110.0, and 104.0. At the bottom, there are horizontal dimension lines indicating lane widths of 75.0, 75.0, 75.0, and 40.0, and a total width of 360.0. Small circles are visible along the vertical boundaries of the lanes.

**Fig.-1 Elevation of Specimen**



**Fig 2 Outline of the experiment Facility**

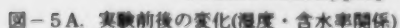


Fig. 5 A. Variation of State ( RH and WaterContents )

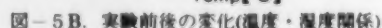


Fig.- 5B Variation of State (Temp. and RH)

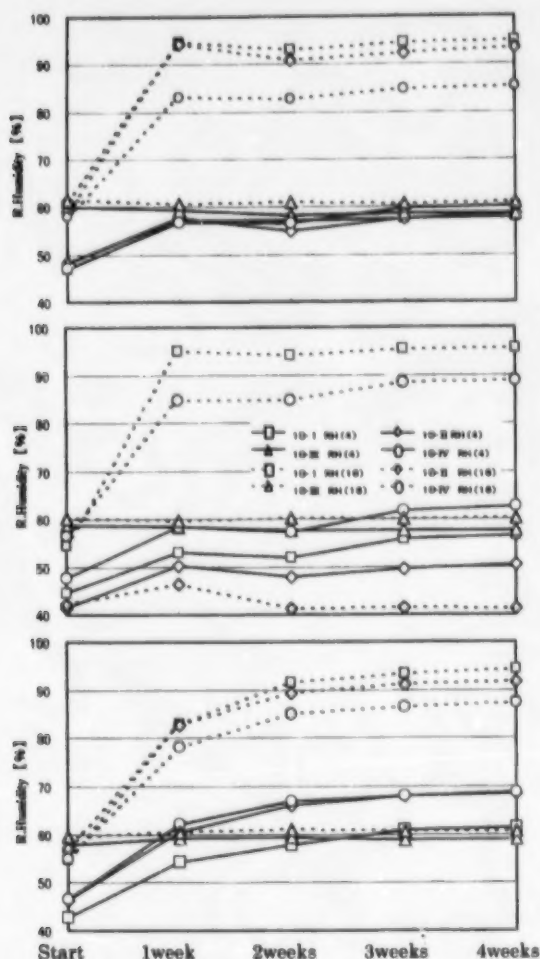


図3. 壁内相対湿度変化 (高さ別、時刻別)  
Fig.3 Change of R.Humidity Level in Walls

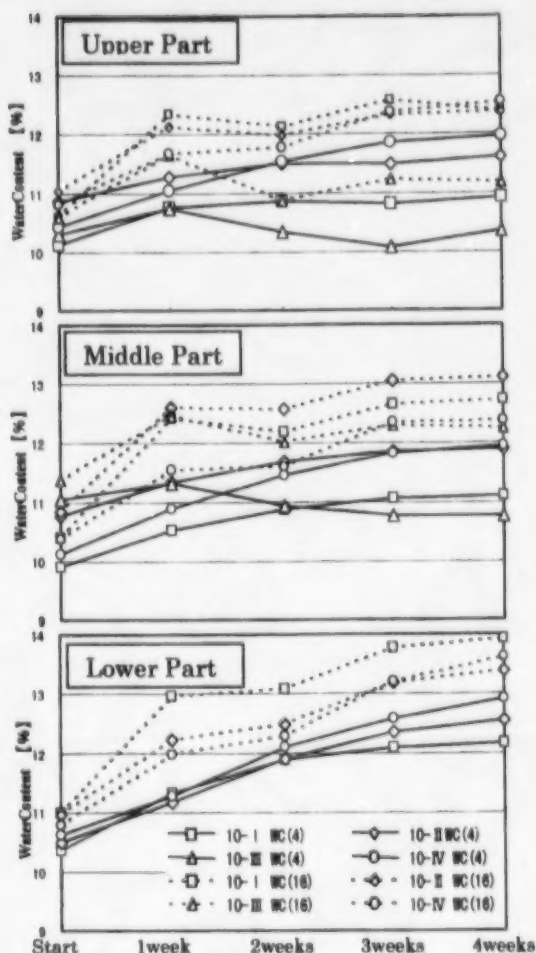


図4. 壁内含水率変化 (高さ別、時刻別)  
Fig.4 Change of Water Content Level in Walls

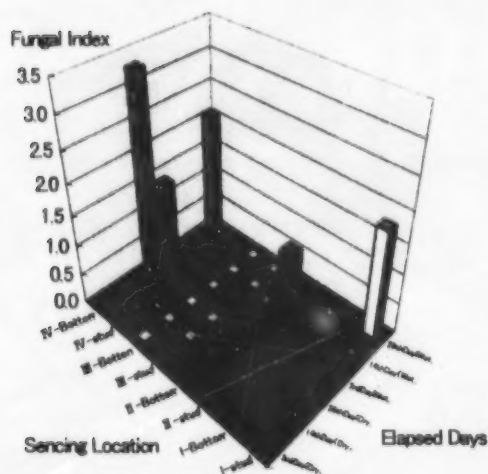


図6. 壁内カビ指数測定結果  
Fig.6 Measured Fungal Indices in Walls

表-3 経年変化による木材含水率の推移 (計算値 [5])  
Table 3 Trends of Water Contents on wood in Walls\*

場所	方位	壁 体 種 別						
		No.1	2	4	5	6	7	8
東京	南							
	西	22.1→11.2		22.1→12.4				
新潟	南							
	西							
大阪	南							
	西	22.11→2.1		22.0→12.8				
福岡	南							
	西	21.4→9.8		21.4→9.8				
鹿児島	南	22.1→11.4		22.1→11.4				
	西	22.2→10.3		22.1→10.3				

\*These values are calculated by Tuchiya and Ikeda in the Committee[5] Blank area is safer than filled area generally.



# 夏季条件における壁体の温湿度性状とその評価に関する検討

大澤元毅、瀬戸裕直  
第五研究部  
建設省建築研究所  
茨城県つくば市立原 1

鈴木大隆  
構法開発科  
寒地都市住宅研究所  
北海道札幌市西区二十四軒 4-1-8

## 1 はじめに

温暖地においては冷房設備の普及と運転の恒常化に伴いその影響が躯体内部の熱・水分環境に及ぶことが知られてきたが、従来の研究は断熱・気密化の普及とその被害が先行した冬季・寒冷時の結露に興味が集申しがちで、屋外環境条件のみならず構工法や生活（冷房）習慣、環境に対する接し方にも相違が大きい温暖地の特性を考慮し、室内外の温度状況が逆転する「夏型結露」を視野に入れた報告は少ない。発生実態、発生機構などに関する知見が不十分なこととあいまって断熱気密化への障害となっていると言えよう。

筆者らは、我が国の外皮構造に課されつつある、断熱気密化をはじめとする要求性能の高度化、温暖地への適用拡大や冷房設備の普及など環境条件の変化が及ぼす様々な影響について関心を持ち、第二回及び第三回日加住宅ワークショップにおいては木造壁体構造の要求性能と対応技術の現状について、第四回には外壁設計の考え方と壁体内環境／性能について報告を行ってきた[1, 2, 3]。我が国の外皮構造には、次世代省エネルギー基準の施行に見られるように、環境負荷低減、住宅安全性などをはじめとする要求性能の高度化・多様化と、設計プロセスにおける総合性・合理性が同時に求められているが、中でも省エネルギー化と室内環境改善に係わる断熱・気密化が急速に普及展開しつつある温暖地においてその必要性は高く、迅速な対応が求められている。

本報告では、平成8年度以来、仕様を変えて実施してきた実大模型実験の10年度結果と、三年間通算10仕様を併せて比較検討した結果を中心とし、カビ指数評価など防露性能評価の進展についても併せて言及する。

## 2. 10年度周期定常実験の概要

### 1) 目的・方法

壁体に着目した場合、躯体の気密化と外装裏面空間の開放などによる外部での防水、初期含水率管理・通気層設置などによる壁体保有水分の早期乾燥化など、内部の水分コントロールがその機能を発揮させる上で不可欠であることは既報で指摘した[1, 2]。しかし、温暖地における夏期の壁内温湿度性状とそれが及ぼす耐久性への影響については基礎的な知見・認識さえ共有されておらず、問題の所在や解決策についての論議がかみ合わない状況が続いている。近年、壁内温湿度状況を熱水分同時移動理論に基づく数値計算によって把握する試みが実を結びつつあるが、いくつかの課題が残され

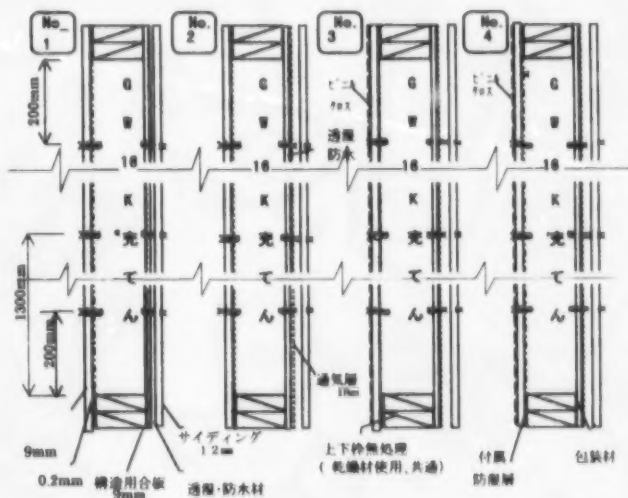


図-1. 10年度試験壁断面 (×: 温度、○: 湿度、□: 含水率)

ていることも事実である。今後、信頼性の高い予測手法を開発するためにも、これらの扱いを早急に検討し、実物による比較検証などを経て実際の対応方策を導き出して行く必要がある。

このような状況を考慮し、夏期を含む通年の防水、結露被害防止を達成する、温暖地における断熱壁体の耐久性保持に関する設計要件を示すことを意図し、温暖地における夏期の断熱壁体における湿気性状、木材含水率の性状を探るべく、実際の木造外壁や外界気候条件を再現した実験室実験を行うこととした。直接的には、「実際の木造外壁を再現した実物大実験により、各外壁構成の湿気性状や木材含水率変動の比較を行い、断熱壁体の夏期への対応に関する基本的知見を得ること」、「信頼性の高い実験結果を得て、現状よりさらに精緻で再現性の高い数値計算技術の開発に役立てること」を期待している。

本実験は既報 [3] と一連の「温暖地の断熱壁体の結露防止技術開発委員会」[5]の成果に関わるものである。継続性を重視し、夏季蒸暑条件下における木造断熱化壁内の平衡条件を再現してデータ収集を行うとともに、壁内での現象を確認すると言う目的は変更していない。実験方法(室内温湿度一定、外気側日周期変動再現、日射相当加熱)使用施設・測定機器(建築研究所環境実験棟:熱貫流実験室)はほぼ同一である。

## 2) 実験条件・試験体仕様

試験体の仕様が主な変更点である。表-1の通り、外気側温度には福岡の気象データから抜粋した日周期変動を、外気側湿度には絶対湿度一定(20g/kg)の条件を与える一方、室内側には強度の冷房運転を想定した26℃、60%RHの一定条件を課した。温度はCu-Co熱電対90点、湿度は静電容量式20点、含水率測定は電気抵抗式20点による測定を行い、10分周期で収録した(詳細は[3]参照)。日射相当の加熱を正弦曲線の温度変動で与える方式も継続している。

試験体は4種類の仕様が相互に干渉しないよう断熱・断湿・気密に配慮して並列に設置し、同時に実験を行った。構造材に乾燥させたツーバイフォー材、室内側仕上げに石膏ボード、屋外側仕上げに窯業系サイディングを用い、壁内に16Kのグラスウールを充てんしていることなどが共通の仕様である。表-2の通り、8年度実験が「通気層の有無」「構造用合板の有無」「上下枠の吸放湿の有無」の比較、9年度実験が「室内側透湿抵抗の変化」「壁内への室内空気流入の影響比較」に重点を置いていたのに対し、本年度は夏期の結露防止に有利と思われる室内側透湿抵抗の低い仕様(Ⅲ)、PE別張りを省略し付属防湿層を用いる仕様(Ⅳ)を対象に、その性能・現象について

表-2. 試験体仕様と層構成の比較

	平成8年度実験				平成9年度実験				平成10年度実験			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
内装仕	なし				ビニルクロス				なし			
室内側下	石膏ボード 12mm				石膏ボード 9mm							
室内側防 湿	PE (ポリエチレンシート0.2mm) 別張り				透湿 防風 シート	757 757 ト757	PE張* 開口 あり	PE (0.2mm) 別張り		なし		PE 付属材
断熱材	グラスウール断熱材 (16K品) 充てん											(被覆付)
上下枠断湿	断湿施工		なし	断湿施工				なし				
外気側下 地	構造用 合板	なし	構造用合板 (針葉樹系 12mm)									
外気側防	透湿防風シート											
通気層	なし	通気層 (18mm)						なし	通気層 (18mm)			
外装仕	窯業系サイディング (12mm)											

て検討を行うこととした。8年度仕様Ⅰと本年度仕様Ⅰ、8年度Ⅱ仕様と本年度仕様Ⅱは、初期含水率の相違と上下枠材の断湿有無を除きほぼ同一の構成である。なお、仕様ⅢとⅣのビニルクロスは市販一般品を、仕様Ⅳの付属防湿層と断熱被覆材(穴あきフィルム)は一般製品と同じものをメーカーより調達して別途施工した。

### 3. 周期定常実験の結果と考察

#### 1) 相対湿度の経時変化と四週経過時の状況

図3に壁内室内側相対湿度の推移(4時及び16時、各10分間隔収録6データの平均)を壁内高さ別に示した。4時は日射加熱の影響が最も小さい夜明け前、16時はその影響が最も大きく現れる夕方の時間帯を代表させている。8・9年度実験と同様、本年実験においても断熱材内部相対湿度は概ね4週間で平衡に達しているが、仕様ⅠⅡⅣの試験体の下部に若干の上昇傾向が見られる。一方、仕様Ⅲの相対湿度は、部位高さ・日射加熱の有無・経時変化にかかわらずほぼ60%前後で安定しており、夏季条件における結露安全性の高さを示している(但し、仕様Ⅲはそれほど厳しくない条件でも容易く冬型結露を起こすことは言うまでもない)。仕様Ⅳも室内側透湿抵抗を意図的に下げた仕様ではあるが、Ⅲの場合ほど顕著な効果は見られない。外気側被膜が透湿に影響した可能性なども今後検討していく必要があろう。

#### 2) 含水率の経時変化と四週経過時の状況

4週間を経過しても平衡に達しないこと、(Ⅲ以外の)上昇傾向が縦枠上部より下部において顕著なことは8・9年度実験と同様である(図4)。夏型結露対策に特化したⅢ仕様は、上部・中央において低下傾向にあるが(Ⅲ下部は欠測)、他の3仕様においては下部・中央において明確な上昇傾向が見られ、水分蓄積が進行している。中でもⅣでは思いのほか急激な上昇が生じ、先の湿度変動の模様と併せてさらに検討を要する結果となった。試験体に施工された包装被覆材と付属防湿層(実際には入念に別途施工している)の実態的な防湿・気密性能、結露水や膨張収縮で移動する壁内空気の挙動などを把握する必要があると考えられる。

#### 3) 三年間の実験結果に関する比較検討

ほぼ同様な方式で実験を行った11試験体(断熱材室内側部位・高さ1200mm)における、湿度・含水率変化を図5に示す(但し、実験開始直前から4週経過(16時時点)。8年度Ⅲ及び、10年度Ⅱ試験体の湿度は欠測。10年度Ⅲを除き左下側が開始前、右上側が4週後)。相対湿度は仕様間の差異が顕著で、50%台からスタートして75~100%に上昇するものが多い中、透湿抵抗を極力下げた10-Ⅲ仕様のみは非常に低湿のまま推移している。今年度の含水率は、8,9年度初期値の中間水準から始まり、10-Iの2.3%上昇を筆頭に、Ⅱの2.3%、Ⅳの2.0%と何れも大きな上昇を見せ、昨年度最大だったの9-I(2.1%)を越えている。一方、10-Ⅲだけは安定しており、夏季条件に限れば最も安全であることは間違いない。

### 4. 防湿性能評価の考え方とカビ指数評価[4]の試行

前述の研究委員会では多くの論議を経て、防湿性能評価について以下のような集約がなされた。

- ① 防湿性能評価は通年の最終的被害リスク制御(腐朽防止)という観点から行うべきである
- ② 結露有無の判定は重要な指標であるが、それだけでは過剰に安全側の指標になりやすい
- ③ 腐朽は生物学的な現象であり、我が国の夏季ように高温高湿な環境においては時間的な履歴と変動性を重視する必要がある
- ④ 含水率の長期的な上昇とその継続がなければ本格的な腐朽には至らない
- ⑤ 最近の数値計算は、一般的外皮内の温湿度環境に関し、実用上十分な予測精度を有する

①の「被害リスク」に関しては従来、②の「結露発生を許容しない」という、それも定常計算に基づく評価が主流であった。しかし、⑤のように詳細な非定常熱水分同時移動計算技術が発展し、予測精度が向上してきた今日、判断基準として不適切との指摘が当然生じてくる。たとえば、非定常的な吸放湿が続く夏型の状況において、短時間の結露と乾燥が繰り返される場合と、結露に至らなくとも高温高湿が継続する場合とでは前者の方が危険とは言いきれないことは明らかである。

③④のような観点を採用する方が合理的であろうとの判断に基づき、「含水率の長期動向」「結露発生量」に「(時間変動を考慮した)生物学的腐朽危険性」を併せて考慮する方針が合意された。なお、ここでは使用材料や層構成などの建築的・設計対応を重視し、設備的対応を前提としないこと、雨水の浸入や漏水は存在しないことなどを前提としている。また、これら複数の指標の軽重・取り扱いについては、使用材質や地域の気候特性などによって影響を受け様でない点にも留意する必要がある。例えば、材質の選択や防湿処理の有無、地域性の強い冷房習慣や日射・外部風の影響などを考えた場合、必ずしも評価の物差しが一樣とは言えず、当面は暫定的参考値を示すにとどまらざるを得ないと考えている。材料の腐朽危険性の評価に「カビ指数」を採用した具体的な仕様毎の計算事例については、土屋の論文を参照されたい。

また実験では、腐朽危険性については時間的な因子(劣化要因である温湿度の継続時間)を反映した「カビ指数」を実験的に採用し、実験においても試行することとした。本年度各試験体の下部に32個(4個(経過時間別)×4試験体×2種(好乾/好湿性))のカビセンサーを設置し、三日、一週間、二週間、四週間経過後に取り出してその成長量(菌糸長)を測定した結果を図6に示す。温湿度等の環境条件と指数との間に明確な関係を見出すことができず、室内環境測定では現れなかった何らかの妨害要因が存在することが明らかである。この原因としては、合板等の木質材から壁体内に放散されるホルムアルデヒドの影響が考えられることから、今後さらに検討を続ける必要があろう。

## 5. おわりに

熱水分同時移動シミュレーションとの協働を前提とした、知見収集と現象確認のための実験を引き続き行い、現象のモデル、湿度状況、含水率変動などについて知見を得た。実験結果と数値シミュレーションとの比較検討では、概ね良好な一致が見られている。さらに数値シミュレーションとの比較検討に被害実態の調査を加え、夏型結露の危険性が小さな仕様・構工法の具体的な提案に結び付けたいと考えている。

## 謝辞

本研究は、建設省の補助を受けて設けられた「温暖地のための結露防止技術研究委員会」[5]の成果に係わるものである。記して感謝の意を表する次第である。

### 【参考文献】

- [1] 大澤「温暖地域における木造壁体構造の現状について」第二回 R&D ワークショップ(つくば)、1994. 11
- [2] 鈴木・福島「寒冷地の外壁通気層構法に関する検討」第三回 R&D ワークショップ(オタワ)、1996. 6
- [3] 大澤・瀬戸・鈴木「温暖地の断熱壁体の構成に関する検討」第四回 R&D ワークショップ(札幌)、1997. 12
- [4] 環境生物学研究所阿部先生の提案によるカビ菌糸の成長量に基づく指標で、同研究所が製作したセンサーを測定終了後返送し、分析してもらうシステムと、温湿度データからそれを算出する方法が利用できる。
- [5] この委員会は、建設省の補助を受け'96. 4より3年間の予定で夏期対応に関する設計要件を探ることを目的に(財)住宅・建築省エネルギー機構内に設けられた。構成は以下の通り、委員長: 藤井正一(芝浦工業大学名誉教授) 主査: 大澤元毅(建築研)、委員: 土屋喬雄(東洋大)、須貝高(福岡大)、池田哲朗(近畿大)、鎌田紀彦(室蘭工業大)、鈴木(道立寒地住宅都市研究所)、佐藤雅俊(建築研/東京大)、瀬戸裕直(建築研)、硝子繊維協会技術委員会。
- [6] 土屋「夏型壁体内結露の特徴とその緩和法」第五回 R&D ワークショップ(シャーロットタウン)、1999. 8



表-1 実験経過と設定条件

Table-1. Experiment Phases and Setting Conditions		
	Curing	Test Phase
Period	4 Weeks	6 Weeks
Outdoor side Conditions	DB:26℃** RH:40%**	DB:25.1~34.4℃* AH:20g/kg**
Indoor Side Conditions		DB:26℃** RH:60%**
Heating (Surface Temp. Control)	Not applied	Outdoor Temp. + $15 \times \sin(1.5 \pi + t \cdot \pi / 12)$
Notes		Aiming Reproduction of Periodic Steady State

\* Outdoor conditions (Temp, Hum and solar radiation) are based on Standard Weather Data in Fukuoka (Large City in Southern part of Japan)

\*\* Outdoor conditions are fixed

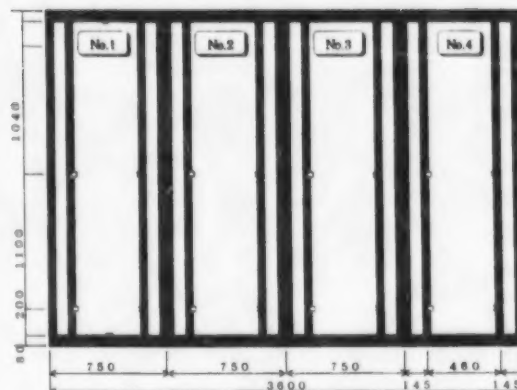


図-1 試験体立面図

Fig.-1 Elevation of Specimen

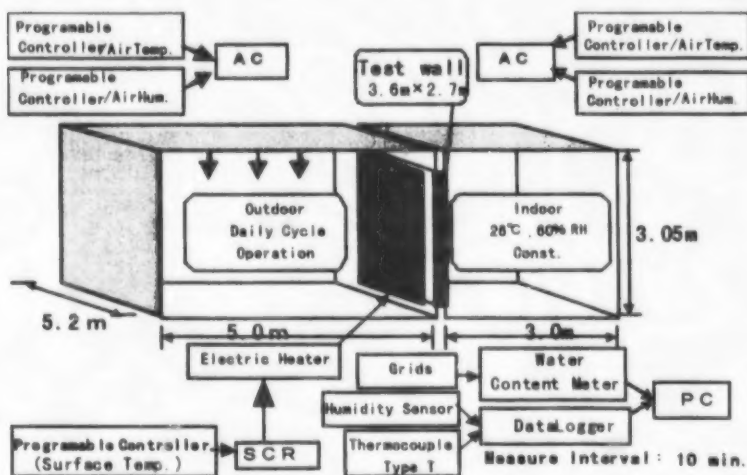


図-2 実験施設の概要

Fig. 2 Outline of the experiment Facility

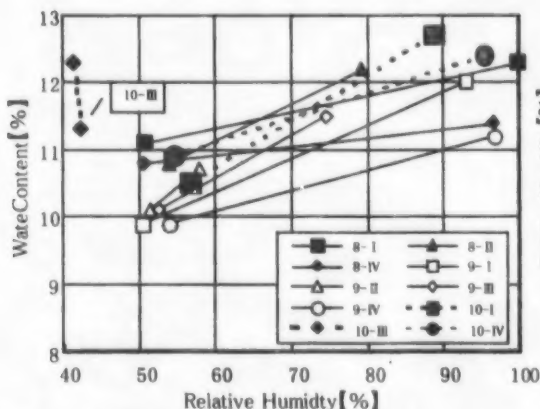


図-5 A. 実験前後の変化(湿度・含水率関係)

Fig.- 5 A. Variation of State ( RH and WaterContents )

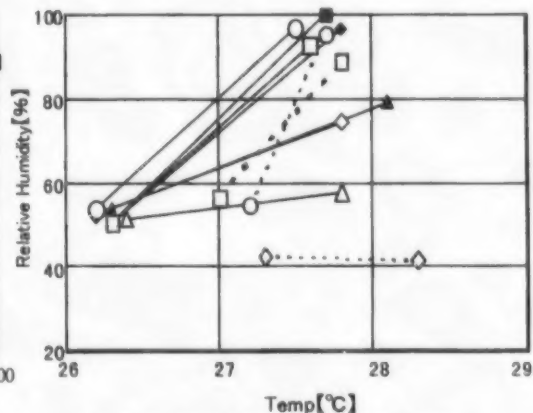


図-5 B. 実験前後の変化(温度・湿度関係)

Fig.- 5 B. Variation of State ( Temp. and RH )



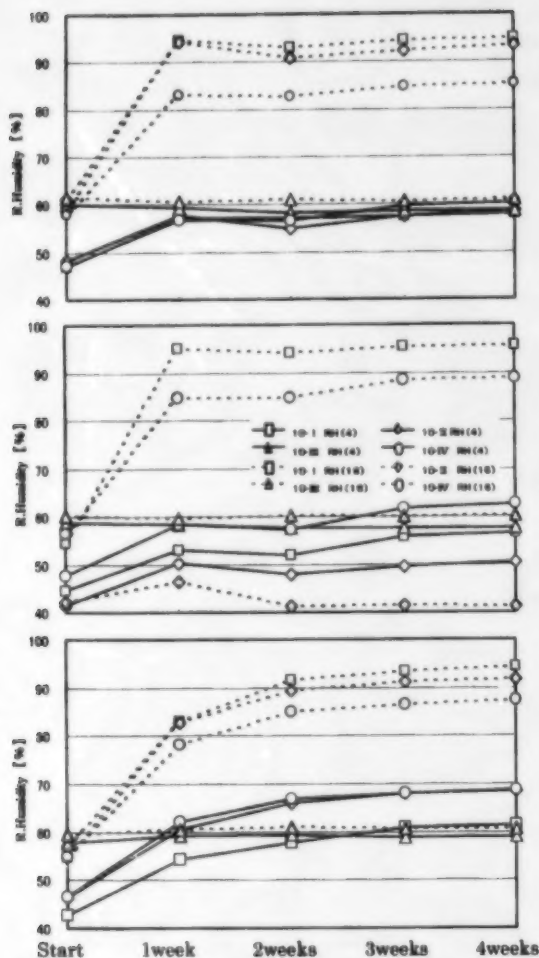


図3. 壁内相対湿度変化(高さ別、時刻別)  
Fig.3 Change of R.Humidity Level in Walls

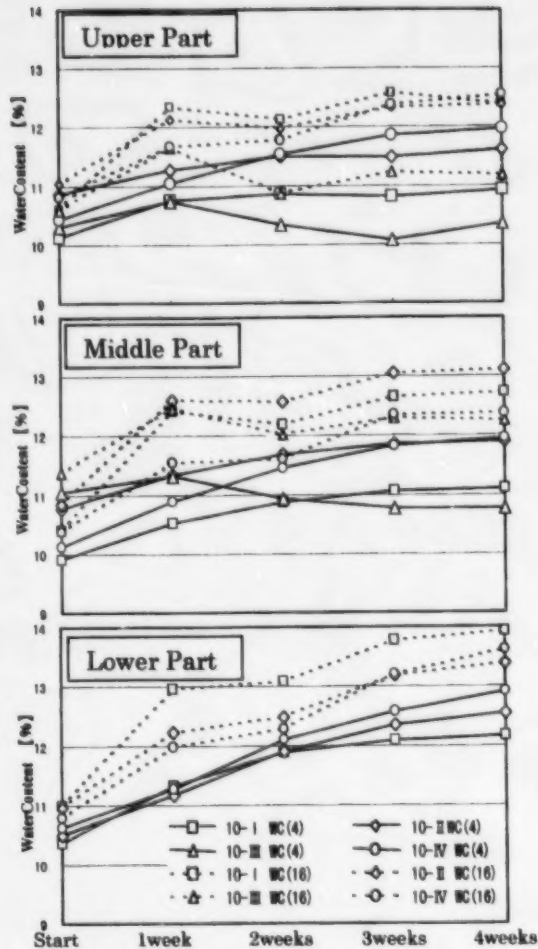


図4. 壁内含水率変化(高さ別、時刻別)  
Fig.4 Change of Water Content Level in Walls

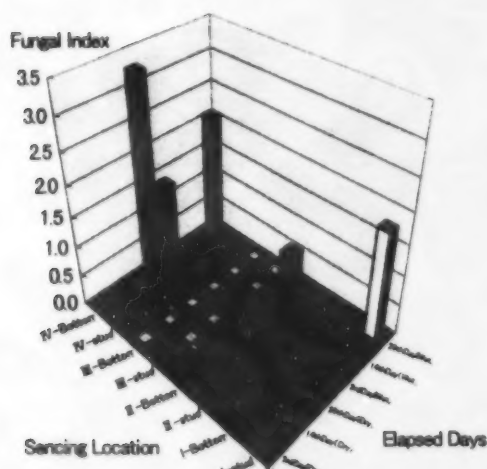


図6. 壁内カビ指数測定結果  
Fig.6 Measured Fungal Indices in Walls

表-3 経年変化による木材含水率の推移(計算値[5])  
Table 3 Trends of Water Contents on wood in Walls\*

場所	方位	壁 体 種 別						
		No.1	2	4	5	6	7	8
東京	南							
	西	22.1→11.2		22.1→12.4				
新潟	南							
	西							
大阪	南							
	西	22.11→2.1		22.0→12.8				
福岡	南							
	西	21.4→9.8		21.4→9.8				
鹿児島	南	22.1→11.4		22.1→11.4				
	西	22.2→10.3		22.1→10.3				

\*These values are calculated by Tuchiya and Ikeda in the Committee[5] Blank area is safer than filled area generally.

# **EFFICIENT AND DURABLE BUILDING ENVELOPES FOR JAPAN**

## **- Part 1: Regional Classifications for Moisture Control in Japan -**

Akihito Ozaki and R. Kevin Lee

Natural Resources Canada, CANMET Energy Technology Centre  
580 Booth Street, 13<sup>th</sup> Floor, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 Canada

### **INTRODUCTION**

Japan exhibits a wide variation in climatic extremes, from cold-climate regions to regions with very hot and humid conditions. In all climates, control of moisture within wall assemblies is of primary concern to ensure durability. Driving rain, high humidity and wide fluctuations in indoor and outdoor temperatures have significant impact on the moisture performance of wall systems. Traditionally, guidelines for constructing wall systems (particularly for energy efficiency) are set according to climatic zones based on temperature. However, in temperate climates where summer interstitial condensation can be a problem, driving forces of moisture flux, or "water potential", are more important as a measure for potential moisture entry and exit from wall systems. It is therefore suggested in this paper that for moisture control guidelines, defining climate zones by a combination of "water potential" and temperature is more appropriate than by temperature zones alone. Based on this concept, regional classifications for Japan for the prevention of moisture damage are defined. The use of such classifications could be very valuable to Canadian export-housing manufacturers and to the Japanese research community.

### **METHOD OF ANALYSIS:**

#### ***NUMERICAL MODEL FOR COUPLED HEAT AND MOISTURE TRANSFER***

##### ***Driving force of moisture flux and fundamental equations***

Extensive work by Ozaki and others [1,2,3,4,5] has resulted in the development of a concept called "water potential". Chemical potential is an index of mass equilibrium state in thermodynamic equilibrium systems. The thermodynamic system, however, reduces to chemical potential in the mass non-equilibrium state (in cases with no chemical change, mass transfer occurs). By applying chemical potential to moisture diffusion, a new thermodynamic function "water potential" can be introduced as an index of the moisture equilibrium state [1].

"Water potential" signifies the thermodynamic energy and the driving force of moisture flux. It is also established by the Onsager's reciprocal theorem to be the driving force of moisture flux even in a thermodynamic non-equilibrium system (the non-isothermal field) [2]. Simultaneous equations of coupled heat and moisture transfer in material are introduced from the law of conservation of energy and mass [3]. To this can be added equilibrium equations of heat and moisture transfer in a cavity layer [4] and draft quantities from natural convective draft can be established using dimensionless flows and numbers [5]. All of this has been established and documented in previous works by Ozaki and others, and is integrated into the simulation model of Ozaki used for analysis summarized in this paper.

### **MODELLING ASSUMPTIONS**

Figure 1 shows the three wall assemblies used for analysis (Walls A, B and C), each being a system that is commonly shipped to Japan. They are differentiated by their use or non-use of a ventilated

air cavity and the type of insulation material used. For the analysis, room air temperature and humidity of the building model are calculated first by using standard weather data. It is assumed that the interior living space is cooled to a temperature of 26°C during the summer (June to September) and is heated to 22°C from December to March. The room humidity is controlled only during these space-conditioning periods and is maintained at a relative humidity below 70% during the cooling season and above 40% during the heating season. An occupancy and activity schedule is also used to simulate internal gains. The internal temperature and humidity in the wall are then simulated using the previously obtained results as the input data.

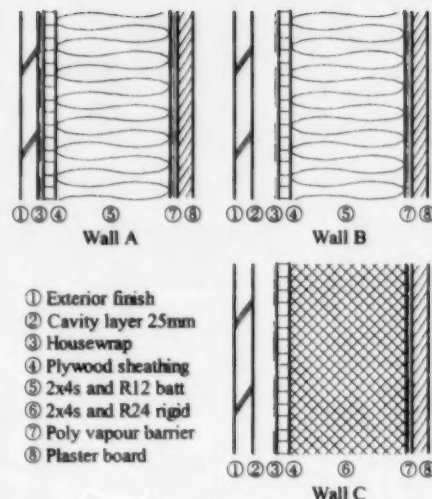


Fig.1 Envelope assemblies

### CHARACTERISTICS OF MOISTURE BEHAVIOR

Figures 2 to 7 show examples of the hourly fluctuations in temperature, relative humidity and moisture flux in the envelopes (the interface between the plywood and the insulation) in Hiroshima for three days in both summer and winter. From these it can be seen that the relative humidity of Wall B (with a ventilated cavity behind the exterior finish) is consistently lower than that of Wall A (without a cavity) throughout both seasons. In particular, the period of continuous moisture condensation (indicated by 100 percent relative humidity) during the summer for Wall B is shorter than that of Wall A. This indicates that the ventilated cavity lowers humidity within the wall system by allowing moisture to exhaust through it. Analysis shows this exhaust function is more active on sunny days, with small amounts of moisture inflow to the wall from the outside on cloudy days. However, a ventilated cavity can be very useful in the preventing water penetration during the rainy season, particularly if rain screen principles (i.e. design for pressurized cavities) are applied.

Nonetheless, even in Wall B, internal relative humidity during the summer at the interface between the polyethylene vapour barrier and the insulation rises each day (and falls at night) and moisture condensation occurs. Wall C, however, using rigid insulation (and its inherent reduced moisture permeance), maintains low relative humidity across the wall section all day long. It can be seen then that moisture diffusion along with moisture desorption and adsorption, all of which occur easily in the low-permeance regime of batt-filled wall cavities, can be causes of interstitial condensation during the summer. The effect of a ventilated cavity for preventing moisture damage in hot-humid regions is therefore only effective to a certain extent and may not be sufficient if batt insulation is used; accordingly, other preventive measures should be applied in such climates.

Note that in all cases (A, B and C) relative humidity in the wall cavity was kept at adequate levels during the winter, both with and without a vented cavity. This means that moisture damage in any of the walls modelled will not occur in winter if a vapour barrier such as polyethylene is properly installed on the interior (warm) side of the envelope. This shows again that wall systems that are appropriate for cold climates, while performing well in winter months, need assessment and possibly modification to ensure adequate performance in hot-humid climates.

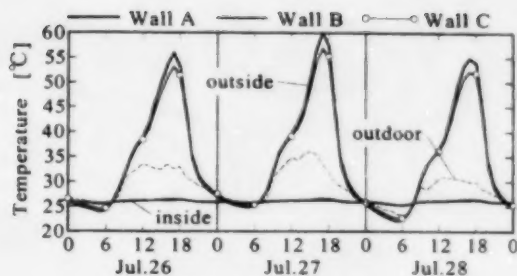


Fig.2 Temperature

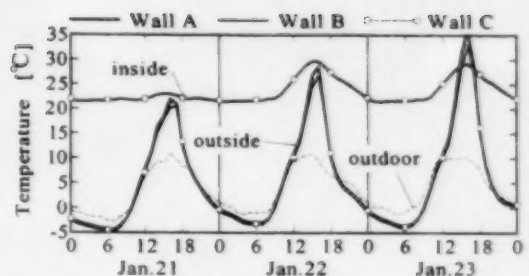


Fig.5 Temperature

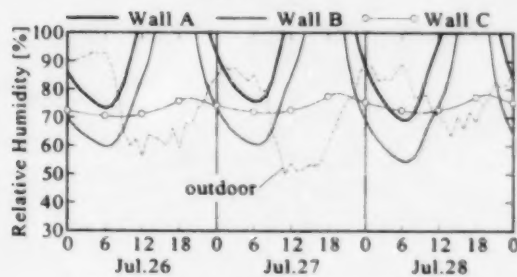


Fig.3 RH on interface of PVB/Insulation

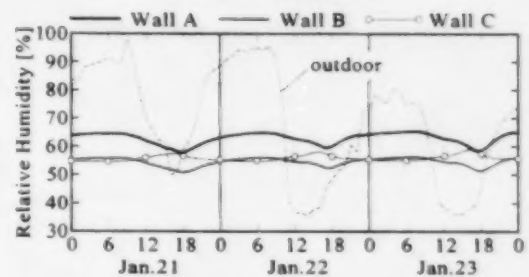


Fig.6 RH on interface of Plywood/Insulation

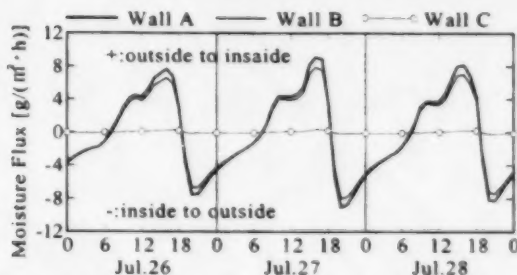


Fig.4 Moisture flux on interface of Plywood/Insulation

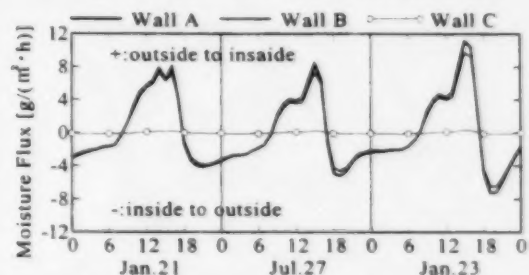


Fig.7 Moisture flux on interface of Plywood/Insulation

## REGIONAL CLASSIFICATION IN JAPAN FOR MOISTURE CONTROL

From the analysis it is clear that summertime interstitial moisture condensation is a potential problem in hot-humid regions, but that the optimum measures against such potential moisture problems are not the same for all regions in Japan. One of the causes of moisture damage during the summer may be a polyethylene vapour barrier installed behind the interior finish board, even though such an approach is effective for limiting vapour diffusion in the winter. The regions where a low permeance vapour barrier (like polyethylene) on the interior side of the envelope is absolutely necessary were therefore assessed based on simulation results for Wall B. This established the regions where moisture damage is likely to occur in the winter, leaving the other regions to concentrate on summertime moisture control. Figure 8 illustrates the 18 cities in Japan targeted for simulation and Table 1 shows monthly mean values of the outside air temperature and relative humidity in those cities. Table 2 outlines guidelines for the prevention of moisture damage developed by the past research on mold growth [6]. The guidelines are based on the "cumulative ratio", which represents the percentage of time for a specific period during which certain conditions are met. In this table, the cumulative ratio for high relative humidity (RH) ranges is used as an index for moisture damage potential because cumulative time in high RH ranges has the





Fig. 8 Target 18 cities for simulation

greatest effect on the inset of mold and decay. Periods where the cumulative ratio is over 25 percent for RH of 80 percent, or where the cumulative ratio is over 10 percent for RH of 90 percent are deemed unacceptable for adequate moisture control and moisture damage prevention.

#### Regions subject to moisture damage in summer

The central columns of Table 1 show the cumulative ratios of time during which the wall (with either Northern or Western exposure) experiences high relative humidities in ranges above 80%, 90% or 95%, and hence is exposed to the risk of moisture damage. The period of investigation is July and August and the specific reference point in the wall assembly is the interface between

Table 1 Monthly mean value of temperature and relative humidity of 18 cities, and the cumulative ratio of time in high internal relative humidity ranges above 80%, 90% and 95%

No.	Region		City	Monthly Mean Value				Wall B (Vinyl Wallpaper Finish)											
				Temp. [°C]		Relative Humidity [%]		Summer [%]						Winter [%]					
								with Poly Vapour Barrier						North					
								West			North			No PVB			With PBV		
								Win.	Sum.	Win.	Sum.	80	90	95	80	90	95	80	90
1	I	A	Nemuro	-4.9	15.7	73	91	16	10	8	25	7	2	100	100	54	0		
2			Asahikawa	-8.1	20.7	80	78	7	3	2	3	0	0	100	100	94	39		
3			Sapporo	-4.3	21.0	72	78	8	4	3	6	2	0	100	95	44	0		
4	II	A	Akita	-0.4	23.5	74	79	15	9	8	18	6	2	55	0	0	0		
5			Morioka	-2.2	22.5	73	81	13	8	6	16	4	0	100	53	9	0		
6	III	A	Sendai	1.1	23.1	66	83	18	12	10	27	12	4	51	10	0	0		
7		B	Niigata	2.1	25.3	74	77	16	10	7	22	8	0	17	0	0	0		
8		A	Matsumoto	-0.8	23.6	67	74	13	7	5	14	1	0	89	57	31	0		
9	IV	B	Toyama	2.1	25.3	82	80	20	13	10	30	12	2	100	29	28	0		
10		C	Maebashi	3.0	25.2	55	78	19	12	9	25	11	4	0	0	0	0		
11			Tokyo	5.4	26.2	51	75	14	8	5	18	2	0	0	0	0	0		
12			Nagoya	4.0	26.5	65	76	22	14	11	31	15	7	31	0	0	0		
13			Osaka	5.6	27.6	62	70	19	11	8	27	10	2	1	0	0	0		
14		D	Hiroshima	4.2	26.3	69	79	23	14	12	37	17	6	6	0	0	0		
15			Fukuoka	6.1	27.3	65	76	24	15	12	35	17	6	0	0	0	0		
16			Kumamoto	5.5	27.3	71	77	21	14	11	32	16	7	21	0	0	0		
17	V	D	Kagoshima	7.7	27.7	71	78	24	14	11	37	18	7	23	0	0	0		
18	VI	E	Naha	16.1	28.2	70	81	30	19	16	52	28	14	0	0	0	0		



Table 2 Moisture control guidelines against the moisture damage

Objective	High range of relative humidity	Standard of cumulative ratio of time
Prevention of mold or decay	above 80%	under 25%
Prevention of dew condensation	above 90%	under 10%

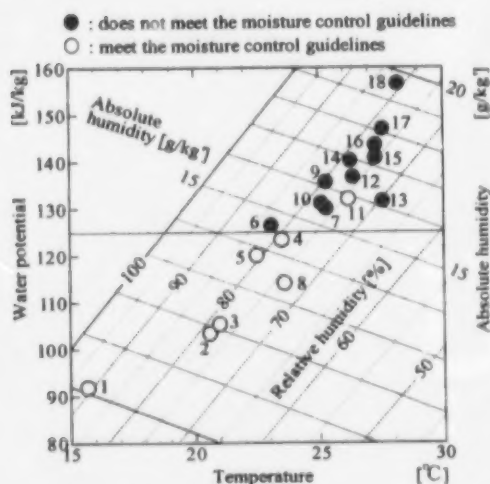


Fig.9 Water potential chart plotting monthly mean values of outside air temperature and humidity during July to August

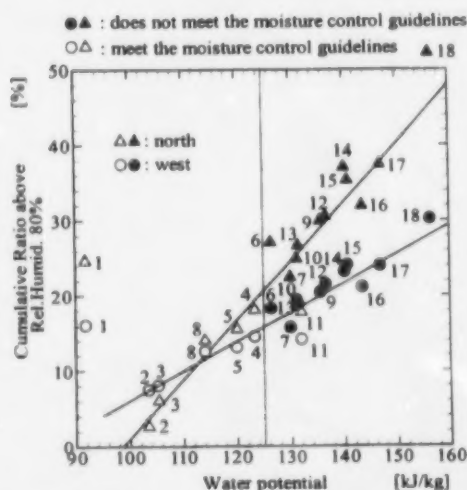


Fig.10 Correlation between cumulative ratio of time above relative humidity 80% and water potential

polyethylene vapour barrier and the insulation. Regions I -VI and A-E described in the table are the current regional classifications set out by the "Energy Conservation Law" (Figure 15) and a new regional classifications proposed in this paper for moisture control (Figure 14), respectively.

Figure 9 illustrates the water potential chart, in which the monthly mean values of the outside air temperature and humidity of the 18 cities are plotted for the months of July and August. Figure 10 shows an example of the correlation between the cumulative ratio above RH 80% and the monthly mean water potential of the outside air in each city. The plots ○ in both graphs indicate the cities where the guidelines for prevention of moisture damage are satisfied; the ● indicates where they are not satisfied. The risk rate of moisture damage becomes higher in the cities where the water potential of outside air is higher. As Figure 10 shows, the risk rate of moisture damage, indicated by a cumulative ratio above RH 80%, is proportional to the mean water potential of the outside air for the two months investigated. High cumulative ratio values are found in the cities above 125kJ/kg of water potential in both of the west and the north wall assemblies. In such cities, it can be concluded, it is necessary to take measures against summertime moisture damage.

Incidentally, the cumulative ratio of time in the highest range above RH 95% (where moisture condensation will occur), is high in the west walls, as is expected. However, the cumulative ratio above RH 80% (where moisture damage from mold or decay can occur) is high in both the west and north walls, which is often not considered a problem when one is only considering

condensation as a risk. However, because environments over 80% RH are conducive to mold growth, consideration for moisture damage must be given to both orientations.

#### Regions subject to moisture damage in winter

The right-hand columns in Table 1 show the cumulative ratios for relative humidity ranges above 80% and 90% for January and February, this time on the interface between the exterior sheathing plywood and the insulation. Results for systems with and without a polyethylene vapour barrier behind the interior finish board are shown.

In cases with a polyethylene vapour barrier, the cumulative ratio above RH 90 percent is zero everywhere except Asahikawa, demonstrating that the risk of moisture condensation during the winter for such systems is extremely low almost everywhere in Japan. The reason for the higher cumulative ratio in Asahikawa is that while moisture permeation into the wall from the indoors is limited by the polyethylene vapour barrier, Asahikawa experiences high outside humidity levels even during the winter, affecting humidity gain through the ventilated cavity.

Of note is the fact that without the polyethylene vapour barrier, there is negligible susceptibility to moisture condensation in regions C, D and E. It can

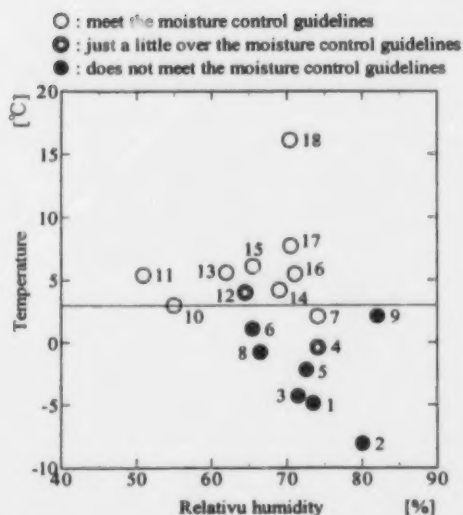


Fig. 11 Climograph plotting monthly mean value during January to February

Table 3 Criterion of regional classification for prevention of moisture damage

Region	Water Potential [kJ/kg]	Temperature [°C]
A	under 130	under 3
B	above 130	under 3
C	above 130	above 3
D	above 140	above 3
E	above 150	above 3

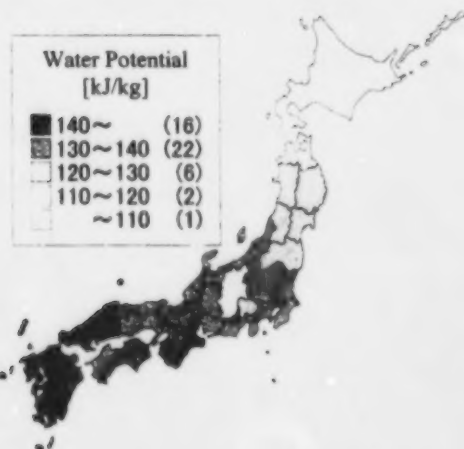


Fig. 12 Regional distribution of mean value of water potential during July to August

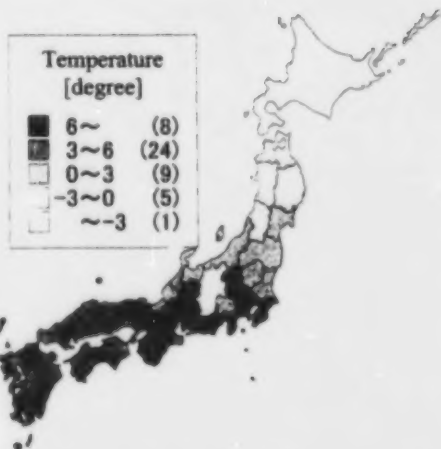


Fig. 13 Regional distribution of mean value of temperature during January to February

therefore be concluded that the risk of moisture damage in winter is limited in the southern regions of Japan if the wall is finished with conventional latex primer and latex paint or with typical vinyl wallpaper (although indoor air quality issues should be considered when applying wallpaper). Conversely, the use of wallpaper or conventional paint finishes in the north (regions A and B) is insufficient to prevent winter moisture problems.

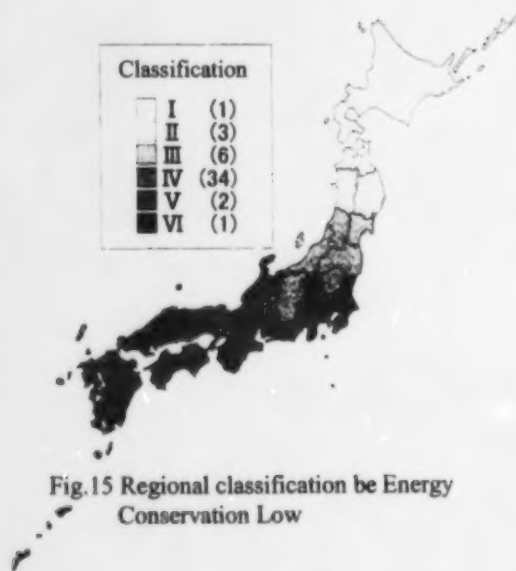
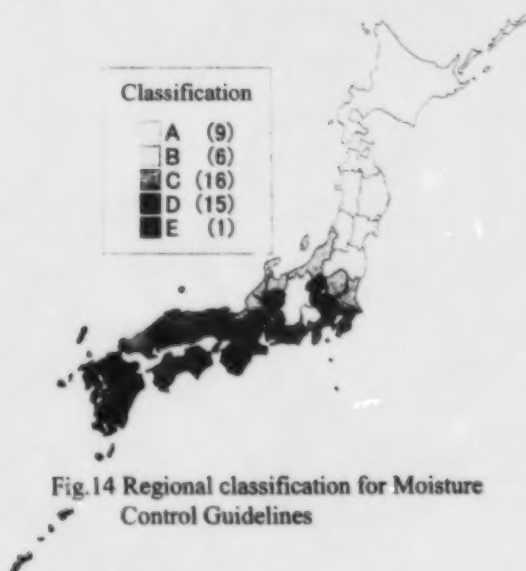
Figure 11 illustrates a climograph plotting the monthly mean temperature and RH values during January and February. Again the plots ○ in the graph indicate the cities where the guidelines for moisture damage prevention are satisfied; ● indicates where they are not. In the cities not satisfying the guidelines, outdoor mean winter temperatures are low. It can be seen from the graph that regions with mean winter temperatures lower than 3°C can roughly be defined as danger regions where moisture damage in winter may occur if a proper vapour barrier is not installed.

### ***Regional classification for the prevention of moisture damage throughout the year***

From the above it can therefore be concluded that regions susceptible to moisture are those where the monthly mean summer water potential is above 125kJ/kg and/or the mean winter temperature is under 3°C. Regions for specifying appropriate moisture control mechanisms can therefore be identified by their water potential and their outdoor temperatures.

Figures 12 and 13 show the regional distribution for summer mean water potential and winter mean temperatures in Japan, respectively. The water potential and temperature are classified into 5 ranges at 10kJ/kg intervals starting at 110kJ/kg and at 3°C intervals starting at -3°C. From the figures it can be seen that mean summer water potential and mean winter temperatures tend to increase as one moves South-West, with Nagano and Yamanashi being exceptions due to their location in the alpine belt. Moisture damage can therefore be seen to be a potential problem throughout Japan, with potential for both summer and winter condensation depending on location. Accordingly, Table 3 lists proposed regional classifications (A to E) based on water potential and temperature criteria.

Figure 14 shows this regional classification for moisture control guidelines as outlined in Table 3.



It shows that region A need only be attentive to moisture damage in winter; conversely, region E can exclusively focus on moisture protection in the summer. In regions B to D, however, there is potential for moisture damage in both winter and summer. Moisture control measures appropriate for all seasons are therefore required in these regions. While this is true, winter measures should be the main focus for region B, while summer protection should be the main consideration in regions C and D. Comparing Figure 14 with Figure 15, showing the regional classifications for the "Energy Conservation Law", there is no direct regional relationship between the two. But, regions A/B approximately correspond to regions I/II/III, and C/D and IV/V also have similar correspondence except Ibaragi, Toyama, Ishikawa and Fukui.

## CONCLUSION

Through the analysis and clarification of the characteristics of moisture behavior in the sample wall assemblies, regional differences for moisture control strategies in summer and winter can be defined. From such results regional classifications for moisture control guidelines in Japan can be established, as proposed in this paper. The results can be summarized as follows:

- a) The combination of high outside humidity, polyethylene vapour barriers behind interior finishes and moisture diffusion through batt insulation along with moisture desorption from materials can cause interstitial condensation during the summer in temperate climates.
- b) A ventilated cavity behind exterior finishes can lower humidity in the wall assembly by allowing for the exhaust of moisture. Such construction is also beneficial for preventing driving-rain water penetration during the rainy season. However, moisture condensation in the summer can still occur even in wall assemblies with a ventilated cavity. Additional measures must be taken in such circumstances to ensure adequate moisture control.
- c) Japan can be classified into the new proposed moisture control guideline regions A-E for moisture protection throughout the year, based on monthly mean water potential and temperature. Risks for moisture damage due to high humidity, measured by cumulative ratios, are gauged by "water potential" (which is proportional to cumulative ratio). Water potential is therefore used to demark summer-condensation-risk zones. Conversely, temperature is the key indicator in cold climate conditions, and regions with winter mean temperatures under 3°C are therefore defined as danger regions for winter interstitial condensation. Regions A to E classified for moisture control guidelines are different than the region I to VI classified by the "Energy Conservation Law".

## REFERENCES

- [1] A.Ozaki, T.Watanabe et al., "Analysis of Moisture Transfer by Water Potential", Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering, Architectural Institute of Japan, No.488, 17-24, 1996
- [2] A.Katchalsky and Peter F.Curran, "Nonequilibrium thermodynamics in biophysics", published by Misuzu Shobo, 1988
- [3] A.Ozaki et al., "Proposition on Numerical Analysis Model of Heat and Moisture Transfer", Proceedings of 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop, V77-84, 1997
- [4] A.Ozaki, T.Watanabe et al., "Analysis of Heat and Moisture Transfer through Cavity Layer - Part 1, 2", Research Report of 35th Session, Kyusnu Branch, Architectural Institute of Japan, pp.105-112, 1995
- [5] A.Ozaki et al., "Analysis of Draft Quantity through Ventilated Air Space", Proceedings, 14th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, vol.2, 33-38, 1997
- [6] H. Komine et al., "A Study on the Contamination Control of Fungi in Dwellings", Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering, Architectural Institute of Japan, No.484, 33-41, 1996

# 湿害防止を目的とした壁体の断熱気密仕様

## その1 湿害防止のための地域区分

尾崎 明仁, R. Kevin Lee

Natural Resources Canada, CANMET Energy Technology Centre  
580 Booth Street, 13<sup>th</sup> Floor, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 Canada

### 1. はじめに

近年の住宅は、空調機器の普及にともない室内熱環境の改善および暖冷房負荷の低減を目的として断熱気密化される傾向にあり、西日本でも寒地型の住宅が建設されつつある。しかし、これらの住宅は梅雨季や夏季の蒸暑季節に躯体内部に水分が蓄積し、湿害（カビの繁殖や構造材の腐朽など）の危険がある。特に、夏季昼間の冷房時は日射受熱による躯体からの放湿、いわゆる蒸し返し現象による壁体内部結露が危惧される。

通年に亘り外気湿度が低い寒地の住宅では、屋内の発生水分が原因で生じる冬季の湿害（室内表面結露と外装材裏面の壁体内部結露）のみが問題となるため、それらは計画換気による屋内から外気への湿気の排出、断熱化による室内表面温度の低下抑制、通気構法（外壁外周部に設けた通気層に外気を導入する構法）による壁体内部から外気への湿気の排出、気密化（内装材裏面の気密防湿シート施工）による壁体内部への透湿抑制により防止できる。温暖（蒸暑）地域でも寒地型住宅の導入にともないこれらの方法が採用されている。しかし、外気が多湿になる蒸暑季節は、壁体内部が高湿化することや、内装材裏面の気密防湿シートが夏季内部結露を助長することなど、寒地型住宅の断熱気密仕様では防止できない湿害が発生する。

日本は寒冷から蒸暑に至る幅広い気候を有するため、壁体の断熱気密仕様は各気候に応じて湿害予防に配慮して開発する必要がある。しかし、現状は温度を基準にした気候（地域）区分に対して、省エネルギーを目的とした断熱指針と寒地仕様の壁体構成が提案されているにすぎない。前述したように、蒸暑地域は夏季湿害も問題となるため、断熱気密を図るためにはその解決が必須となる。そこで、本論文（その 1, 2）では、湿害防止を目的として数値シミュレーションを基に各地域（気候）に適する壁体の断熱気密仕様を提案する。なお、基本的な湿害の原因は、冬季は外気温度、夏季は外気湿度（湿り空気の熱力学エネルギー）と考えられるため、温度と水分ポテンシャルを指標とした新たな地域区分を定義する。

### 2. 熱・水分複合移動解析モデル

#### 2.1 湿流の駆動力と基礎方程式

通気層の熱・水分拡散を含む壁体の熱・水分複合移動解析モデルは、既往の研究<sup>1)~5)</sup>により定式化されている。本モデルの特徴は、湿流の駆動力に水分ポテンシャル（湿り空気の熱力学エネルギー）を使用することにある。水分ポテンシャル<sup>1)</sup>とは、化学ポテンシャル「熱力学平衡系における物質平衡の指標」を湿り空気に応用したもので、水蒸気 1kg 当たりの熱力学エネルギーとして定義



される。等温の物質非平衡系では、熱力学系は化学ポテンシャルの少ない方向に変化し、化学変化が起こらない場合は物質移動のみが生じる。したがって、水分ポテンシャルは水蒸気の拡散エネルギーを意味し、水蒸気拡散は系内部の水分ポテンシャル分布に支配される。なお、水分ポテンシャルは非等温熱力学系でも湿流の駆動力となることがオンサーガーの相反定理より証明される<sup>2)</sup>。

多孔質材料内部の熱・水分複合移動を示す基礎方程式<sup>3)</sup>は、エネルギーと水分の保存則より導かれ、通気層の熱・水分拡散方程式<sup>4)</sup>は、熱および水蒸気の自然拡散と移流拡散から導かれる。なお、通気層の浮力による移流量は、連立の式、運動方程式、エネルギー方程式の無次元解析により整理されており、任意の通気層寸法に対して通気層温度の関数として与えられる<sup>5)</sup>。壁体の熱・水分複合移動は、これらの数式モデルの逐次計算収束解として求められる。

## 2.2 壁体モデルおよび計算方法

図 1 に、解析に使用した 3 種類の壁体モデル A～C の構成と仕様を示す。これらの壁体モデルは、外装材裏面の通気層の有無および断熱材の種類に違いがあるが、いずれも実際に施工される。壁体 A は外装材と内装材により内部が密閉されるのに対し、壁体 B、C は外装材裏面の通気層 (25mm 厚) を介して外気と通じる。断熱材料として壁体 A、B には繊維系材料、壁体 C には発泡系材料を用いる。

標準気象データを使用して住宅モデルの温湿度を計算し、その結果を入力値として壁体の内部温湿度を計算する。室内条件は、6～9 月は終日冷房 (26℃以下)、12～3 月は終日暖房 (22℃以上) とし、実質の冷暖房時間のみ湿度制御する (冷房時 70%以下、暖房時 40%以上)。在室者のスケジュールと作業強度も内部で発生する熱・水分として考慮する。

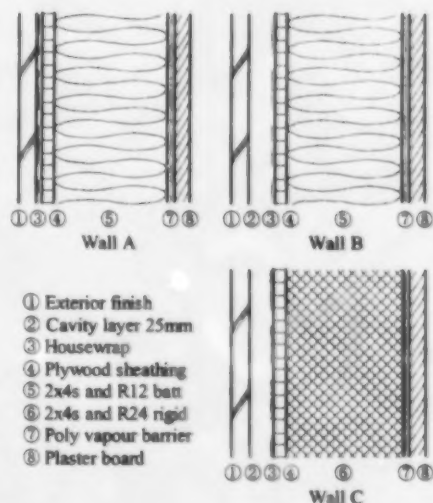


Fig.1 Envelope assemblies

## 3. 壁体の温湿度変動特性

一例として、図 2～7 に広島における夏季と冬季の壁体 A～C の温度、相対湿度、湿流 (合板と断熱材の境界部分) の 3 日間の経時変化を示す。壁体 A、B を比較すると、内部相対湿度は通気層を有する壁体 B の方が通気層のない壁体 A より夏季・冬季とも低い値となる。夏季には壁体 B も結露する (相対湿度が 100%となる) が、結露時間は壁体 A より短い。通気層には通年に亘り壁体内部を低湿化する効果 (外気への排湿効果) がある (なお、詳細な現象解析によると、通気層を介して曇・雨天日には外気から壁体内部へ湿気が流入するものの、晴天日には著しい排湿効果が認められる)。なお、通気層は梅雨季には雨水の浸透を防ぐ防水層としても有効である (通気層の防水効果を高める方法として内部圧力を外部風圧と同等に制御するレインスクリーンがある)。

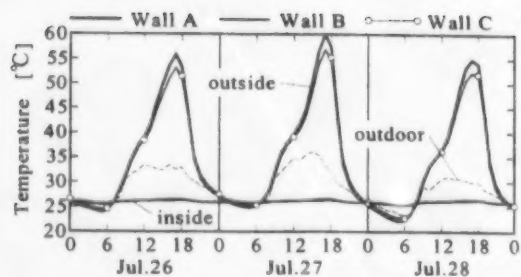


Fig.2 Temperature

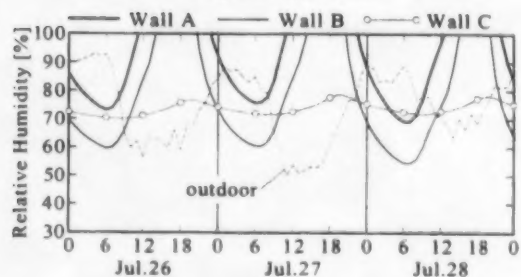


Fig.3 RH on interface of PVB/Insulation

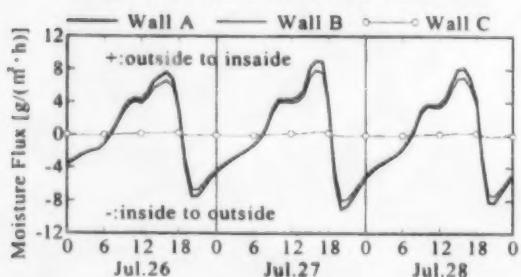


Fig.4 Moisture flux on interface of Plywood/Insulation

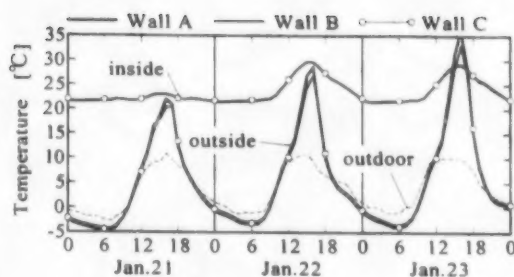


Fig.5 Temperature

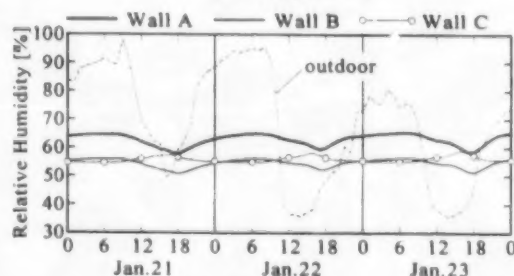


Fig.6 RH on interface of Plywood/Insulation

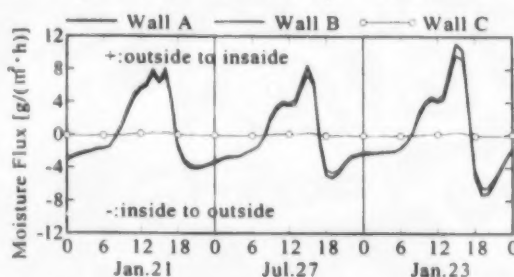


Fig.7 Moisture flux on interface of Plywood/Insulation

しかし、壁体 B でさえ夏季の内部相対湿度（繊維系断熱材とポリエチレンフィルムの境界部分）は昼間に上昇し結露する（ただし、夜間は低下する）。これに対して、透湿抵抗の大きい発泡系断熱材を使用した壁体 C の内部相対湿度は、終日低い値に保たれる。図 2, 4 から明らかなように、夏季内部結露の原因は、温度上昇による材料からの放湿と繊維系断熱材の透湿性（容易な湿気拡散性）にある（ただし、壁体内部における湿気の停滞と冷却も結露の要因となるため、室内側の防湿施工と室内冷房にも原因がある）。通気層には夏季湿害を緩和する効果がある程度認められるが、繊維系断熱材を使用した壁体については十分とはいえず、湿害予防にはその他の対策が必要となる。

一方、通気層の有無および断熱材の種類に関係なく、冬季の内部相対湿度はいずれの壁体も低く保たれる。室内側を適切に防湿施工することにより、壁体仕様に拘わらず冬季の湿害は防止できる（寒地では室内側の防湿施工が必須となる）。しかし、前述したように夏季湿害は室内側の防湿施工にも起因するため、寒地仕様の壁体については適用し得る地域（気候）の評価が必要で、蒸暑地域については通年に亘る湿害防止を目的としてその気候に適した断熱気密化が望まれる。



Fig. 8 Target 18 cities for simulation

#### 4. 湿害防止を目的とした地域区分

通年に亘り壁体の湿害を予防するためには、各地域の気候に応じて最適な断熱気密仕様を開発する必要がある。湿害の基本的な原因は、冬季は外気温度（露点温度）、夏季は外気湿度（外気から壁体内部への水蒸気の拡散エネルギー「水分ポテンシャル」）である（4.1, 4.2 節参照）。したがって、内装材側の防湿施工（一般には、内装材裏面の気密防湿シート「ポリエチレンフィルム」）は、冬季は室内から壁体内部への透湿量を激減させ湿害（結露）を防止するが、夏季は壁体内部に湿気を停滞させ湿害（結露・カビ・腐朽）を助長する。そこで、通気層を有する壁体 B（一般的な構法）を対象に、室内側の防湿施工が必須となる地域

Table 1 Monthly mean value of temperature and relative humidity of 18 cities, and the cumulative ratio of time in high internal relative humidity ranges above 80%, 90% and 95%

No.	Region		City	Monthly Mean Value				Wall B (Vinyl Wallpaper Finish)											
				Temp. [°C]	Relative Humidity [%]		Summer [%]						Winter [%]						
							with Poly Vapour Barrier						North						
							West			North			No PVB			With PBV			
							Win.	Sum.	Win.	Sum.	80	90	95	80	90	95	80	90	80
1	I	A	Nemuro	-4.9	15.7	73	91	16	10	8	25	7	2	100	100	54	0		
2			Asahikawa	-8.1	20.7	80	78	7	3	2	3	0	0	100	100	94	39		
3			Sapporo	-4.3	21.0	72	78	8	4	3	6	2	0	100	95	44	0		
4	II	A	Akita	-0.4	23.5	74	79	15	9	8	18	6	2	55	0	0	0		
5			Morioka	-2.2	22.5	73	81	13	8	6	16	4	0	100	53	9	0		
6	III	A	Sendai	1.1	23.1	66	83	18	12	10	27	12	4	51	10	0	0		
7		B	Niigata	2.1	25.3	74	77	16	10	7	22	8	0	17	0	0	0		
8		A	Matsumoto	-0.8	23.6	67	74	13	7	5	14	1	0	89	57	31	0		
9	IV	B	Toyama	2.1	25.3	82	80	20	13	10	30	12	2	100	29	28	0		
10		C	Maebashi	3.0	25.2	55	78	19	12	9	25	11	4	0	0	0	0		
11			Tokyo	5.4	26.2	51	75	14	8	5	18	2	0	0	0	0	0		
12			Nagoya	4.0	26.5	65	76	22	14	11	31	15	7	31	0	0	0		
13			Osaka	5.6	27.6	62	70	19	11	8	27	10	2	1	0	0	0		
14			Hiroshima	4.2	26.3	69	79	23	14	12	37	17	6	6	0	0	0		
15		D	Fukuoka	6.1	27.3	65	76	24	15	12	35	17	6	0	0	0	0		
16			Kumamoto	5.5	27.3	71	77	21	14	11	32	16	7	21	0	0	0		
17	V	D	Kagoshima	7.7	27.7	71	78	24	14	11	37	18	7	23	0	0	0		
18	VI	E	Naha	16.1	28.2	70	81	30	19	16	52	28	14	0	0	0	0		

Table 2 Moisture control guidelines against the moisture damage

Objective	High range of relative humidity	Standard of cumulative ratio of time
Prevention of mold or decay	above 80%	under 25%
Prevention of dew condensation	above 90%	under 10%

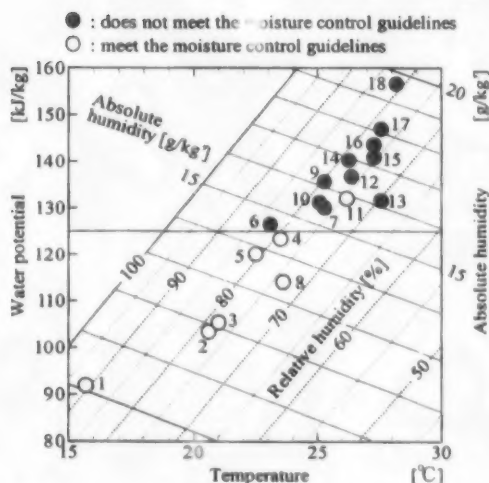


Fig.9 Water potential chart plotting monthly mean values of outside air temperature and humidity during July to August

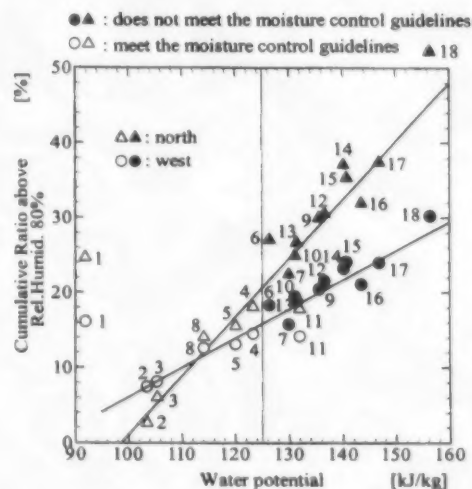


Fig.10 Correlation between cumulative ratio of time above relative humidity 80% and water potential

と不要な地域を特定する。防湿施工の必要な地域は主に冬季湿害が危惧され（ただし、夏季湿害も発生する可能性はある）、残りの地域は夏季湿害の危険性について検討を要する。

図 8 に計算の対象とした全国 18 地域を、表 1（左欄）にそれらの地域の 7～8 月と 1～2 月の月平均温湿度を示す。また、既往の研究<sup>6)</sup>を基に定義した湿害防止基準（壁体内部相対湿度がある特定の範囲を示す累積時間の割合「累積率」）を表 2 に示す。湿害は主に高湿な環境に起因することが明らかなことから、高湿域の累積率（湿害の危険率）を湿害防止基準の指標とする。ここでは、「カビ・腐朽の防止基準」として相対湿度 80%以上の累積率 25%、「内部結露の防止基準」として相対湿度 90%以上の累積率 10%を許容限界値とする。

#### 4.1 夏季湿害の危険地域

表 1（中欄）に、西壁と北壁の内部相対湿度（繊維系断熱材とポリエチレンフィルムの境界部分）が夏季（7～8 月）に 80%以上、90%以上、95%以上になる累積率を示す。表中に示す地域 I～VI と地域 A～E は、それぞれ省エネルギー基準で定められた地域区分（図 15 参照）と本論文で定義される湿害予防のための地域区分（図 14 参照）である。

図 9 は各地域の 7～8 月の外気温湿度の平均値を水分ポテンシャル線図に示したもので、図 10 は相対湿度 80%以上の累積率と外気的水分ポテンシャル（月平均値）の相関である。なお、図中のシ

ンボル○と●はそれぞれ湿害防止基準（内部相対湿度 80%以上の累積率 25%以下，90%以上の累積率 10%以下）を満足する地域と満足しない地域である。累積率（湿害の危険率）は外気的水分ポテンシャルが高い地域でより高くなる。図 10 から明らかなように、湿害の危険率は外気的水分ポテンシャル（月平均）とほぼ比例関係にある。西壁と北壁いずれも水分ポテンシャル 125kJ/kg 以上の地域（地域Ⅲの一部と地域Ⅳ～Ⅵ）は夏季湿害の危険性があり，何らかの対策が必要である。

西壁と北壁の累積率を比較すると，相対湿度 95%以上（結露状態に近い近飽和域）については西壁の方が高いが，相対湿度 80%以上（カビ・腐朽の危険域）については北壁の方が高い。夏季は日射受熱に起因した蒸し返しによる結露を直接的な湿害と考え，日照のある壁面を問題対象とすることが多いが，カビ・腐朽の観点からは北壁についても考慮する必要がある（結局，夏季湿害は全方位で可能性がある）。

#### 4.2 冬季湿害の危険地域

表 1（右欄）に，北壁の内部相対湿度（繊維系断熱材と合板の境界部分）が冬季（1～2月）に 80%以上，90%以上になる累積率を示す。通気層を有する壁体 B

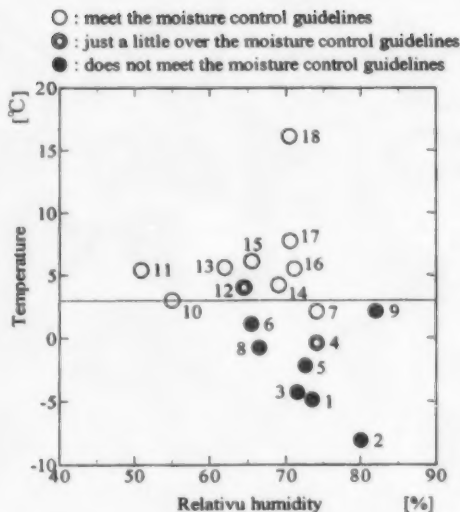


Fig.11 Climograph plotting monthly mean value during January to February

Table 3 Criterion of regional classification for prevention of moisture damage

Region	Water Potential [kJ/kg]	Temperature [°C]
A	under 130	under 3
B	above 130	under 3
C	above 130	above 3
D	above 140	above 3
E	above 150	above 3

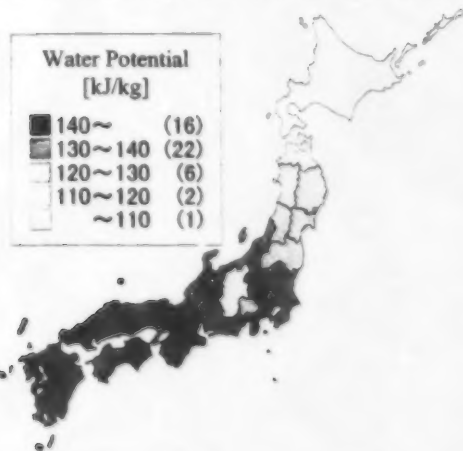


Fig.12 Regional distribution of mean value of water potential during July to August

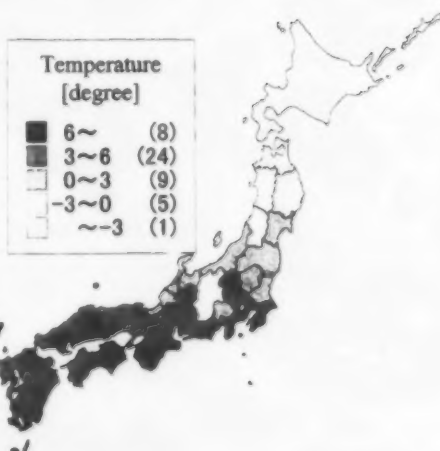


Fig.13 Regional distribution of mean value of temperature during January to February



について、室内側の防湿施工（内装材裏面ポリエチレンフィルム）の有無による違いを比較する。なお、室内仕上げ材にはビニルクロスを使用する。

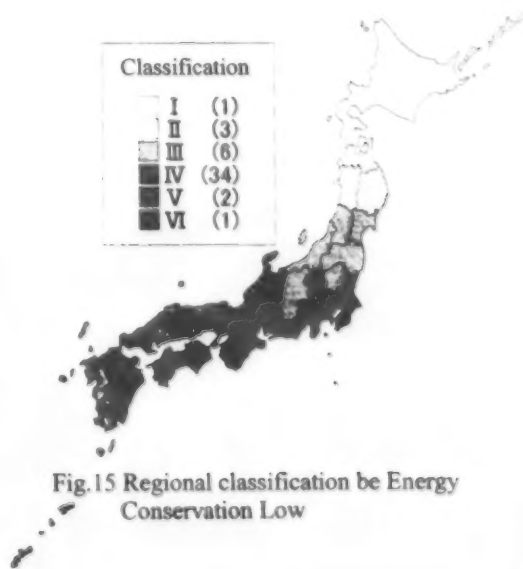
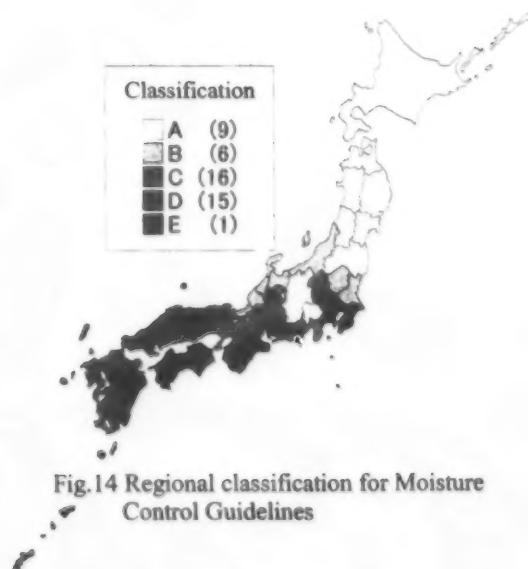
防湿施工した場合、相対湿度 90%以上の累積率（湿害の危険率）は旭川を除いて 0%である。冬季結露は室内側の防湿施工（室内から壁体内部への透湿抑制）により、ほとんどの地域で解消できる。ただし、旭川のように冬季でも外気相対湿度が高い地域は、たとえ室内から壁体内部への透湿を抑制したとしても外気からの湿気の侵入により（壁体の外装材側温度が低く、外気への排湿が困難なことも原因）、内部湿度は極めて高い状態になる。なお、地域 C, D, E は防湿施工しなくても湿害の危険率は低い。つまり、南部地域は冬季湿害予防を目的とした防湿施工の必要性は少ない（ただし、ラテックス塗装、ビニルクロスなどで内装仕上げした場合）。一方、北部地域 A, B は、冬季湿害を防止するため内装材裏面ポリエチレンフィルムなどの防湿施工が必須である。

図 11 は、各地域の 1～2 月の外気温湿度の平均値をクリモグラフに示したもので、図中のシンボル○と●は防湿施工のない場合に湿害防止基準を満足する地域と満足しない地域である。冬季湿害が危惧される地域は、おおそ外気温度が 3℃以下の地域である。

#### 4.3 通年に亘る湿害防止のための地域区分

上述したように、夏季あるいは冬季の湿害の危険性は、水分ポテンシャル（7～8 月の平均値：危険域 125kJ/kg 以上）と外気温度（1～2 月の平均値：危険域 3℃以下）から判断できるため、それらを指標に地域区分すれば各地域に最適な壁体の断熱気密仕様を提案できる。図 12, 13 に、水分ポテンシャル分布（夏季平均値を 10kJ/kg 刻みに 5 分割）と外気温度分布（冬季平均値を 3℃刻みに 5 分割）を示す。長野と山梨を除けば、水分ポテンシャルと外気温度はいずれも北部から南部に増大する傾向があり、夏季と冬季の湿害はおおよそ地域に依存して発生することが分かる。表 3 に、水分ポテンシャルと外気温度を基準に定義した地域区分 A～E を示す。

表 3 に基づく湿害防止のための地域区分を図 14 に示す（ただし、局所的な気候の違いから、図中



の同地域内でも異なる区分「例外」となる場合がある)。地域 A と地域 E はそれぞれ冬季あるいは夏季の湿害のみ注意すれば良いのに対し、地域 B, C, D は冬季と夏季のいずれも湿害の危険性があり両季節について湿害対策が必要である。ただし、地域 B は冬季湿害について、地域 C, D は夏季湿害について重点的に予防すべきと推察される。図 14 と図 15 (「例外」を除く省エネルギー基準による地域区分) を比較すると、両者には直接的な関係はないものの、茨城・富山・石川・福井を除けばおおそ地域 A, B は地域 I ~ III と、地域 C, D は地域 IV, V と一致する。

## 5. むすび

実際に施工される 3 種類の壁体を対象に夏季と冬季の温湿度変動を解析し、その特性と湿害の原因を明らかにした。また、気候の異なる地域ごとに最適な断熱気密仕様を検討するため、湿害予防の観点から外気の水分ポテンシャル (7~8 月の平均値) と温度 (1~2 月の平均値) を指標とした地域区分を提案した。主な結果を以下に列記する。

- 1) 冬季湿害 (壁体内部結露) は、①外気温度、②室内から壁体内への透湿に原因があるのに対し、夏季湿害 (蒸暑地域における壁体内部結露・カビ・腐朽) は、①多湿な外気、②温度上昇による材料からの放湿、③繊維系断熱材の透湿性 (容易な湿気拡散性)、④室内側の防湿施工 (例えば、内装材裏面ポリエチレンフィルム) に原因がある。
- 2) 外装材裏面の通気層は、通年に亘り壁体内部の低湿化 (壁体内部から外気への排湿) に貢献する。しかし、夏季湿害の予防は十分といえず、蒸暑地域ではその他の対策を要する。なお、通気層は梅雨季には雨水の浸透を防ぐ防水層としても有効である。
- 3) 夏季湿害の危険率 (壁体内部が高湿になる時間的な累積率) は外気の水分ポテンシャル (月平均値) に比例するため、蒸暑地域における湿害の危険性は水分ポテンシャルを指標として判断できる。これに対して、冬季湿害の危険性は外気温度 (月平均値) を指標に判断できる。夏季と冬季の湿害の発生基準は、それぞれ水分ポテンシャル 125kJ/kg 以上、外気温度 3℃以下である。
- 4) 水分ポテンシャルと温度の月平均値を基準に、通年に亘る湿害防止のための地域区分 A~E (省エネルギー基準で定義される地域 I~VI と異なる) を定義した。

## 参考文献

- 1) 尾崎明仁, 渡邊俊行, 他: 水分ポテンシャルによる湿気移動解析—湿流の駆動力, 日本建築学会計画系論文集, 第488号, pp.17~24, 1996
- 2) A.Katchalsky and Peter F.Curran, "Nonequilibrium thermodynamics in biophysics", published by Misuzu Shobo, 1988
- 3) A.Ozaki et al., "Proposition on Numerical Analysis Model of Heat and Moisture Transfer", Proceedings of 4th Japan/Canada Housing R&D Workshop, V77-84, 1997
- 4) 尾崎明仁, 渡邊俊行, 他: 通気層の熱・湿気移動解析 その1~2, 日本建築学会九州支部研究報告 第35号・2, pp.105~112, 1995
- 5) A.Ozaki et al., "Analysis of Draft Quantity through Ventilated Air Space", Proceedings, 14th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, vol.2, 33-38, 1997
- 6) 小峰裕己, 他: 住宅室内のカビ汚染と防止に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第484号, pp.33~41, 1996

---

**IMPORTANT NOTE CONCERNING THE FOLLOWING  
PAGES**

**THE PAGES WHICH FOLLOW HAVE BEEN FILMED  
TWICE IN ORDER TO OBTAIN THE BEST  
REPRODUCTIVE QUALITY**

**USERS SHOULD CONSULT ALL THE PAGES  
REPRODUCED ON THE FICHE IN ORDER TO OBTAIN  
A COMPLETE READING OF THE TEXT.**

---

**REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES  
PAGES QUI SUIVENT**

**LES PAGES SUIVANTES ONT ÉTÉ REPRODUITES EN  
DOUBLE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE  
REPRODUCTION**

**LES UTILISATEURS DOIVENT CONSULTER TOUTES  
LES PAGES REPRODUITES SUR LA FICHE AFIN  
D'OBTENIR LA LECTURE DU TEXTE INTÉGRAL**

# EFFICIENT AND DURABLE BUILDING ENVELOPES FOR JAPAN

## - Part 2: Wall Assemblies Meeting Regional Classifications for Moisture Control in Japan -

Akihito Ozaki and R. Kevin Lee

Natural Resources Canada, CANMET Energy Technology Centre  
580 Booth Street, 13<sup>th</sup> Floor, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 Canada

### INTRODUCTION

Based on the results of the predecessor to this report, "Part 1: Regional Classifications for Moisture Control in Japan" [1], presented here are efficient and durable wall assemblies for Japan for each of the regions (A to E) meeting proposed moisture control guidelines. The guidelines outlined in the previous paper are based on summertime mean water potential and winter mean temperatures; this weather data is listed below in Table 1 for 47 prefectures. The influence of air leakage on wetting and drying characteristics of envelopes as it applies to the classification system is also addressed and guidelines for recommending systems are introduced.

Table 1 Monthly mean values of water potential and temperature

Classification		Prefecture	WP [kJ/kg] Jul. to Aug.	Temp. [°C] Jan. to Feb.	Classification		Prefecture	WP [kJ/kg] Jul. to Aug.	Temp. [°C] Jan. to Feb.
Dew Proof	Energy Saving				Dew Proof	Energy Saving			
A	I	Hokkaido	102	-5.2	C	IV	Kyoto	130	4.2
A	II	Aomori	117	-1.8	C	IV	Osaka	131	5.6
A	II	Iwate	120	-2.2	C	IV	Hyogo	136	4.8
A	II	Akita	123	-0.4	C	IV	Nara	137	3.5
A	III	Miyagi	126	1.1	C	IV	Tottori	138	3.7
A	III	Yamagata	123	-0.8	C	IV	Okayama	139	4.8
A	III	Fukushima	125	1.2	C	IV	Ehime	134	5.4
A	III	Nagano	119	-0.9	D	IV	Mie	140	4.6
A	IV	Yamanashi	129	2.7	D	IV	Wakayama	143	6.6
B	III	Niigata	132	2.2	D	IV	Shimane	141	3.8
B	III	Tochigi	132	1.9	D	IV	Hiroshima	140	4.2
B	IV	Ibaragi	135	2.7	D	IV	Yamaguchi	143	5.9
B	IV	Toyama	136	2.1	D	IV	Tokushima	141	5.5
B	IV	Ishikawa	134	2.9	D	IV	Kagawa	141	4.9
B	IV	Fukui	134	2.6	D	IV	Kochi	143	6.1
C	IV	Gunma	131	3.0	D	IV	Fukuoka	141	6.1
C	IV	Gifu	137	4.0	D	IV	Saga	146	5.5
C	IV	Shiga	135	3.2	D	IV	Nagasaki	146	6.7
C	IV	Saitama	134	3.5	D	IV	Kumamoto	143	5.5
C	IV	Chiba	139	5.9	D	IV	Oita	142	5.7
C	IV	Tokyo	132	5.4	D	V	Miyazaki	149	7.4
C	IV	Kanagawa	137	5.2	D	V	Kagoshima	147	7.7
C	IV	Shizuoka	137	6.4	E	VI	Okinawa	154	15.2
C	IV	Aichi	137	4.0					

### ENVELOPE ASSEMBLY MODELS

As the results of the first report show, interior vapour barriers are appropriate for colder climates, agreeing with accepted building science principles. However, the report also demonstrates that some vapour barriers, like polyethylene behind interior finishes, can cause interstitial condensation during the summer in high permeance wall assemblies in certain climates. This is because interior vapour barriers limit moisture the vapour permeance at the interior surface of the wall, reducing drying capacity of the assembly to the inside of the building. The result can be walls having insufficient moisture capacity to control internal humidity. The basic cause of moisture build-up during the summer is moisture diffusion from the outside and desorption from internal materials due to





# EFFICIENT AND DURABLE BUILDING ENVELOPES FOR JAPAN

## - Part 2: Wall Assemblies Meeting Regional Classifications for Moisture Control in Japan -

Akihito Ozaki and R. Kevin Lee

Natural Resources Canada, CANMET Energy Technology Centre  
580 Booth Street, 13<sup>th</sup> Floor, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 Canada

### INTRODUCTION

Based on the results of the predecessor to this report, "Part 1: Regional Classifications for Moisture Control in Japan" [1], presented here are efficient and durable wall assemblies for Japan for each of the regions (A to E) meeting proposed moisture control guidelines. The guidelines outlined in the previous paper are based on summertime mean water potential and winter mean temperatures; this weather data is listed below in Table 1 for 47 prefectures. The influence of air leakage on wetting and drying characteristics of envelopes as it applies to the classification system is also addressed and guidelines for recommending systems are introduced.

Table 1 Monthly mean values of water potential and temperature

Classification		Prefecture	WP [kJ/kg] Jul. to Aug.	Temp. [°C] Jan. to Feb.	Classification		Prefecture	WP [kJ/kg] Jul. to Aug.	Temp. [°C] Jan. to Feb.
Dew Proof	Energy Saving				Dew Proof	Energy Saving			
A	I	Hokkaido	102	-5.2	C	IV	Kyoto	130	4.2
A	II	Aomori	117	-1.8	C	IV	Osaka	131	5.6
A	II	Iwate	120	-2.2	C	IV	Hyogo	136	4.8
A	II	Akita	123	-0.4	C	IV	Nara	137	3.5
A	III	Miyagi	126	1.1	C	IV	Tottori	138	3.7
A	III	Yamagata	123	-0.8	C	IV	Okayama	139	4.8
A	III	Fukushima	125	1.2	C	IV	Ehime	134	5.4
A	III	Nagano	119	-0.9	D	IV	Mie	140	4.6
A	IV	Yamanashi	129	2.7	D	IV	Wakayama	143	6.6
B	III	Niigata	132	2.2	D	IV	Shimane	141	3.8
B	III	Tochigi	132	1.9	D	IV	Hiroshima	140	4.2
B	IV	Ibaragi	135	2.7	D	IV	Yamaguchi	143	5.9
B	IV	Toyama	136	2.1	D	IV	Tokushima	141	5.5
B	IV	Ishikawa	134	2.9	D	IV	Kagawa	141	4.9
B	IV	Fukui	134	2.6	D	IV	Kochi	143	6.1
C	IV	Gunma	131	3.0	D	IV	Fukuoka	141	6.1
C	IV	Gifu	137	4.0	D	IV	Saga	146	5.5
C	IV	Shiga	135	3.2	D	IV	Nagasaki	146	6.7
C	IV	Saitama	134	3.5	D	IV	Kumamoto	143	5.5
C	IV	Chiba	139	5.9	D	IV	Oita	142	5.7
C	IV	Tokyo	132	5.4	D	V	Miyazaki	149	7.4
C	IV	Kanagawa	137	5.2	D	V	Kagoshima	147	7.7
C	IV	Shizuoka	137	6.4	E	VI	Okinawa	154	15.2
C	IV	Aichi	137	4.0					

### ENVELOPE ASSEMBLY MODELS

As the results of the first report show, interior vapour barriers are appropriate for colder climates, agreeing with accepted building science principles. However, the report also demonstrates that some vapour barriers, like polyethylene behind interior finishes, can cause interstitial condensation during the summer in high permeance wall assemblies in certain climates. This is because interior vapour barriers limit moisture the vapour permeance at the interior surface of the wall, reducing drying capacity of the assembly to the inside of the building. The result can be walls having insufficient moisture capacity to control internal humidity. The basic cause of moisture build-up during the summer is moisture diffusion from the outside and desorption from internal materials due to

temperature rise (solar-driven moisture) during the day, as illustrated in Figure 1. Accordingly, greater moisture permeance at the interior face of the assembly, additional moisture capacity of interior materials (e.g. use of a moisture adsorption and desorption or desiccant material as interior finish board) and external insulation to ease temperature rise are suggested as potential practical measures for moisture control during the summer (Figure 2). In this paper, the wetting and drying characteristics of wall assembly models with these characteristics (Figure 2), labelled walls B, D and E, are modelled under various climatic conditions and are analyzed for conformance to the proposed moisture control guidelines.

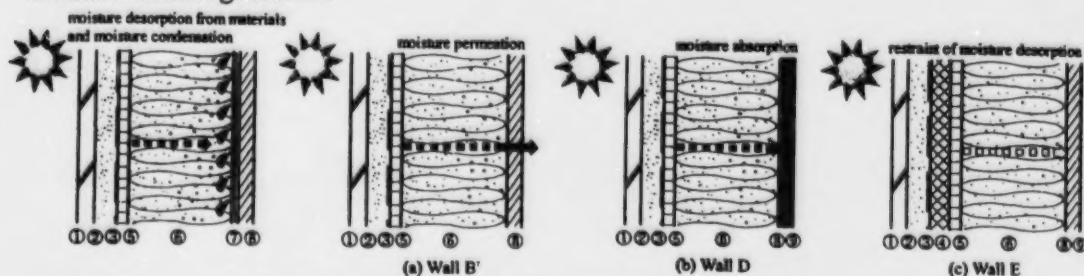


Fig.1 Internal moisture condensation in summer

Fig.2 Practical measures to prevent moisture damage in summer

## DURABLE BUILDING ENVELOPES FOR JAPAN

### *Influence of vapour barriers on the interior side of the wall assembly*

In this report, assessment of the performance of the walls for moisture control is based on the concept of cumulative ratio [1]. Table 2 shows the cumulative ratios for 18 cities for relative humidities above 80% or 90%, where high values represent potential for damage from excessive moisture build-up. Values are for the inside surface of the batt insulation of Wall B during July and August, and the outside surface of the insulation for January and February. The risk rate is shown for north-oriented walls even for the summer months because cumulative ratios for the 80% RH indicator tend to be highest for north-oriented walls, as outlined in previous work [1].

During the winter, the interstitial relative humidity of Wall B with the polyethylene vapour barrier is kept below 90% and there is negligible risk of moisture problems in most of the regions. The one exception to this is Asahikawa, where the humidity levels remain high even during the winter (see Table 1 of the first report), and as is seen in Table 2, the cumulative ratio over RH 90% is quite high. This can result in condensation and freezing and subsequent moisture damage. By comparison, while the cumulative ratio above RH 80% is relatively high in Nemuro and Sapporo, moisture damage from mold or decay in these regions will likely not occur because temperatures during these high RH periods are extremely low and condensation (i.e. cumulative ratio > 0 for RH 90%) is avoided. This suggests that a sub-region, say region A', is required for areas in region A with high winter humidity levels.

In Sendai and all the cities of the regions B through E, the interstitial relative humidity for Wall B is high during the summer and there is the risk of moisture damage. While Sendai belongs to region A (Miyagi prefecture), its monthly mean water potential is a relatively high, as shown in Table 1. So even in the region A, Wall B with a polyethylene vapour barrier is inappropriate for cities where the monthly mean water potential is above 125kJ/kg (assuming a wide margin of safety is desired). Wall B with a polyethylene vapour barrier is therefore acceptable in region A except in cities such as Asahikawa and Sendai with high relative humidity in winter or high water potential in

Table 2 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside and outside interface of batt insulation of Wall B (on the north during July to August and January to February)

Region		City	during July to August (Wall B on the North)								during January to February (Wall B on the North)							
			without Poly Vapour Barrier						with PVB		without Poly Vapour Barrier						with PVB	
			No Finish		VW		VBP				No Finish		VW		VBP			
			80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	12	1	17	2	19	4	25	7	100	100	100	100	62	0	54	0
		Asahikawa	4	0	2	0	1	0	3	0	100	100	100	100	89	42	94	39
		Sapporo	4	0	4	0	3	0	6	2	100	100	100	100	95	48	1	44
II	A	Akita	12	0	13	2	14	3	18	6	100	100	55	0	0	0	0	0
		Morioka	12	0	11	0	11	1	16	4	100	100	100	100	12	0	9	0
III	A	Sendai	15	2	21	5	26	7	27	12	100	100	100	100	0	0	0	0
	B	Niigata	15	0	17	1	17	2	22	8	100	100	17	0	0	0	0	0
	A	Matsumoto	11	0	9	0	7	0	14	1	100	100	100	100	36	0	31	0
IV	B	Tovama	19	0	23	3	26	5	27	12	100	100	100	100	32	0	28	0
		Maebashi	19	1	21	5	21	6	25	11	77	0	0	0	0	0	0	0
		Tokyo	11	0	13	0	12	0	18	2	3	0	0	0	0	0	0	0
	C	Nagoya	18	2	24	7	28	11	30	13	100	100	31	0	0	0	0	0
		Osaka	14	0	19	2	23	5	27	12	79	0	1	0	0	0	0	0
		Hiroshima	20	1	28	5	36	12	37	15	100	100	6	0	0	0	0	0
	D	Fukuoka	21	1	28	6	33	12	35	17	42	0	0	0	0	0	0	0
		Kumamoto	19	1	25	7	30	11	32	14	100	100	21	0	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	21	0	29	7	36	11	37	15	100	100	23	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	25	2	38	10	54	23	57	23	4	0	0	0	0	0	0	0

summer. Even in region A then, there are cities that are exceptions that should be classified as region A' or B.

It is apparent from previous work that a polyethylene vapour barrier can contribute to interstitial condensation during the summer in hot-humid climates. If it is removed, interior moisture levels may decrease because of the absorbency of the interior finish board and the increase in moisture permeance (drying capacity) from within the wall to the interior of the building. Compared with the walls using a polyethylene vapour barrier, walls that are finished with a vapour barrier primer, a vinyl wallpaper<sup>1</sup>, or that are not finished at all, show lower internal relative humidities during the summer. However, the risk rate of the wall finished with vapour-barrier primer does not differ much from that of the wall using polyethylene vapour barrier. Although a vapour-barrier primer finish is acceptable in both regions A and B, the influence of removing polyethylene vapour barrier and making use of the absorbency of interior finish board is not that significant because of the limited moisture capacity of the board.

For the vinyl wallpaper finish, the summer risk rate is relatively low for regions A to C while the no-finish assemblies have no summer problems anywhere in Japan. However, the risk rate in winter for the no-finish wall is of course high in all regions except region E, while the wallpaper assembly has winter problems in regions A and B. This suggests that it may be possible to control moisture in each region by adjusting the vapour permeability of the interior finish. For example, the vapour-barrier primer finish would apply to regions A and B, the vinyl wallpaper finish to region C, and the no-finish system to regions E and possibly D.

While the use of interior finishes of varying vapour permeabilities can be a good approach to moisture control, it should be noted that there can be difficulties. Vinyl wallpaper and its adhesives

<sup>1</sup> Vinyl wallpaper is a common interior finish in Japan, and hence is addressed in this paper. It should be noted, however, that wallpaper and its adhesives are often a source of volatile organic compounds (VOCs), and that for indoor air quality reasons, wall finishes with lower (or no) toxicity are preferable. Where it is used as a component of the moisture control system, alternative finishes with similar vapour permeance should instead be selected.



Table 2 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside and outside interface of batt insulation of Wall B (on the north during July to August and January to February)

Region		City	during July to August (Wall B on the North)								during January to February (Wall B on the North)							
			without Poly Vapour Barrier						with PVB		without Poly Vapour Barrier						with PVB	
			No Finish		VW		VBP				No Finish		VW		VBP			
			80% <sub>i</sub>	90% <sub>i</sub>	80% <sub>e</sub>	90% <sub>e</sub>	80% <sub>i</sub>	90% <sub>i</sub>	80% <sub>e</sub>	90% <sub>e</sub>	80% <sub>i</sub>	90% <sub>i</sub>	80% <sub>e</sub>	90% <sub>e</sub>	80% <sub>i</sub>	90% <sub>i</sub>	80% <sub>e</sub>	90% <sub>e</sub>
I	A	Nemuro	12	1	17	2	19	4	25	7	100	100	100	100	62	0	54	0
		Asahikawa	4	0	2	0	1	0	3	0	100	100	100	100	94	42	94	39
		Sapporo	4	0	4	0	3	0	6	2	100	100	100	95	48	1	44	0
II	A	Akita	12	0	13	2	14	3	18	6	100	79	55	0	0	0	0	0
		Morioka	12	0	11	0	11	1	16	4	100	100	100	53	12	0	9	0
III	A	Sendai	15	2	21	5	26	7	27	12	97	63	51	10	0	0	0	0
	B	Niigata	15	0	17	1	17	2	22	8	100	32	17	0	0	0	0	0
	A	Matsumoto	11	0	9	0	7	0	14	1	100	91	89	57	36	0	31	0
IV	B	Toyama	19	0	23	3	26	5	30	12	100	97	100	29	32	0	28	0
		Maebashi	19	1	21	5	21	6	25	11	77	0	0	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	11	0	13	0	12	0	18	2	3	0	0	0	0	0	0	0
		Nagoya	18	2	24	7	28	11	31	15	83	46	31	0	0	0	0	0
		Osaka	14	0	19	2	23	5	27	10	79	0	1	0	0	0	0	0
	D	Hiroshima	20	1	28	5	36	11	37	17	96	17	6	0	0	0	0	0
		Fukuoka	21	1	28	6	33	12	35	17	42	0	0	0	0	0	0	0
		Kumamoto	19	1	25	7	30	11	32	16	99	14	21	0	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	21	0	29	7	36	11	37	18	92	10	23	0	0	0	0	
VI	E	Naha	25	2	38	10	54	23	52	28	4	0	0	0	0	0	0	

summer. Even in region A then, there are cities that are exceptions that should be classified as region A' or B.

It is apparent from previous work that a polyethylene vapour barrier can contribute to interstitial condensation during the summer in hot-humid climates. If it is removed, interior moisture levels may decrease because of the absorbency of the interior finish board and the increase in moisture permeance (drying capacity) from within the wall to the interior of the building. Compared with the walls using a polyethylene vapour barrier, walls that are finished with a vapour barrier primer, a vinyl wallpaper<sup>1</sup>, or that are not finished at all, show lower internal relative humidities during the summer. However, the risk rate of the wall finished with vapour-barrier primer does not differ much from that of the wall using polyethylene vapour barrier. Although a vapour-barrier primer finish is acceptable in both regions A and B, the influence of removing polyethylene vapour barrier and making use of the absorbency of interior finish board is not that significant because of the limited moisture capacity of the board.

For the vinyl wallpaper finish, the summer risk rate is relatively low for regions A to C while the no-finish assemblies have no summer problems anywhere in Japan. However, the risk rate in winter for the no-finish wall is of course high in all regions except region E, while the wallpaper assembly has winter problems in regions A and B. This suggests that it may be possible to control moisture in each region by adjusting the vapour permeability of the interior finish. For example, the vapour-barrier primer finish would apply to regions A and B, the vinyl wallpaper finish to region C, and the no-finish system to regions E and possibly D.

While the use of interior finishes of varying vapour permeabilities can be a good approach to moisture control, it should be noted that there can be difficulties. Vinyl wallpaper and its adhesives

<sup>1</sup> Vinyl wallpaper is a common interior finish in Japan, and hence is addressed in this paper. It should be noted, however, that wallpaper and its adhesives are often a source of volatile organic compounds (VOCs), and that for indoor air quality reasons, wall finishes with lower (or no) toxicity are preferable. Where it is used as a component of the moisture control system, alternative finishes with similar vapour permeance should instead be selected.



can be a source of volatile organic compounds that can degrade indoor air quality. Colour, texture, finish changes from room to room, and other customer preferences, can result in products of incorrect permeance being used to appeal to the home buyer. Further, once occupied, the interior finishes of the house can easily be modified by the home owner, resulting in changes in the permeance of the interior surface of the wall with potential detrimental impact on its moisture-control performance. Still, if such problems can be overcome, simply changing the interior finish of a wall assembly allows it to be easily modified for various climates.

### *Effect of interstitial humidity control by a moisture adsorption and desorption material*

One option for controlling moisture in Wall B with a vapour-barrier in regions C and D is to use an interior finish board with high moisture capacity—a moisture adsorption and desorption material or “desiccant board”. Figure 3 illustrates the differences in water sorption a desiccant board, plywood and plaster board. From this it can be seen that a desiccant board could absorb moisture released from the exterior sheathing (e.g. plywood) due to temperature rise (solar driven moisture) and diffused inward through the batt insulation. This approach could prevent humidity level increase at the interior surface of the insulation against the interior finish board on hot summer days.

The results of Wall D using a desiccant board are shown in Table 3. The risk rate of moisture damage for Wall D decreases drastically in all the regions during the summer; however, increased winter humidity levels can be seen in regions A and B even where a vapour-barrier primer is installed. The use of a desiccant board then is appropriate only in regions C, D and E; it is inappropriate in regions A and B where winter moisture control is the principle concern. It should be noted that the cumulative ratio

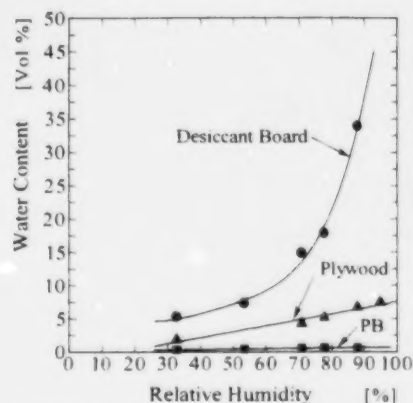


Fig.3 Equilibrium water content among Desiccant board, Plywood and Plaster board

Table 3 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall D (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B using Plaster Board with VB Primer				Wall D using Desiccant Board							
							with VB Primer				No Finish			
			Summer		Winter		Summer		Winter		Summer		Winter	
		80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	
I	A	Nemuro	19	4	62	0	0	0	77	29	1	0	100	100
		Asahikawa	1	0	94	42	0	0	92	68	0	0	100	100
		Sapporo	3	0	48	1	0	0	77	36	0	0	100	100
II	A	Akita	14	3	0	0	0	0	15	0	0	0	100	77
		Morioka	11	1	12	0	0	0	52	6	0	0	100	100
III	A	Sendai	26	7	0	0	2	0	25	3	2	0	96	61
		Niigata	17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100	37
		Matsumoto	7	0	36	0	0	0	63	21	0	0	99	90
IV	B	Toyama	26	5	32	0	0	0	66	13	0	0	100	91
		Maebashi	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	72	3
		Tokyo	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
	C	Nagoya	28	11	0	0	1	0	9	1	1	0	84	44
		Osaka	23	5	0	0	0	0	1	0	0	0	73	5
		Hiroshima	36	11	0	0	7	0	0	0	1	0	88	24
	D	Fukuoka	33	12	0	0	1	0	0	0	2	0	47	2
		Kumamoto	30	11	0	0	2	0	5	0	0	0	92	28
V	D	Kagoshima	36	11	0	0	2	0	11	0	0	0	80	25
VI	E	Naha	54	23	0	0	60	0	0	0	5	0	10	0

\* moisture adsorption and desorption material

above 80% in region E is still high in summer when using a vapour-barrier primer finish; that of the no-finish system however is quite low. It can therefore be concluded that the use of a desiccant board is effective in the regions C, D and E, but that a very permeable interior finish is required in region E.

### Effectiveness of exterior wall insulation

Table 4 shows the summer and winter cumulative ratios for RH over 80% and 90% for Wall E. It shows that the summer moisture control performance of Wall E with a vapour barrier primer is acceptable in all regions except region E. The amount of moisture that diffuses inward is reduced by the low permeability of the exterior rigid insulation, which also restricts the internal temperature rise of the wall cavity and moisture desorption from the materials. Comparing both assemblies when using a vapour-barrier paint, wall E performs significantly better than wall B.

In terms of winter performance Wall E experiences less than half the humidity levels of Wall B because the rigid insulation moderates internal temperatures. Given the reduced permeance of the exterior insulation, it is important in this assembly to ensure a good interior vapour barrier in all but the very hot climate situations. This is illustrated in Table 4 by the high amounts of condensation experienced if an interior vapour barrier is omitted.

Airtightness, an indispensable feature for moisture control in cold conditions, is even more important for Wall E because of its lower permeability at the exterior portion of the wall assembly. However, with a properly installed vapour barrier and air barrier, the winter risk rate for Wall E is low even in Asahikawa, where Wall B experiences problems. The analysis shows Wall E provides better moisture control than Wall B in all regions, particularly in those regions with high outside relative humidity in the winter. It is applicable (with a vapour barrier primer) to regions A to D without modification.

Wall E with no finish also avoids summer interstitial condensation in region E. However, the cumulative ratio above RH 80% in winter is rather high, introducing the possibility of moisture damage from mold because the mild winters experienced in this region. Accordingly, Wall E should

Table 4 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B with VB Primer				Wall E with External Insulation							
							with VB Primer				No Finish			
			Summer		Winter		Summer		Winter		Summer		Winter	
			80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	19	4	62	0	1	0	0	0	1	0	100	100
		Asahikawa	1	0	94	42	0	0	0	0	1	0	100	100
		Sapporo	3	0	48	1	0	0	0	0	1	0	100	100
II	A	Akita	14	3	0	0	3	0	0	0	5	0	100	100
		Morioka	11	1	12	0	1	0	0	0	3	0	100	100
III	A	Sendai	26	7	0	0	2	0	0	0	4	0	100	100
		Niigata	17	2	0	0	3	0	0	0	6	0	100	95
		Matsumoto	7	0	36	0	0	0	0	0	0	0	100	100
IV	B	Toiyama	26	5	32	0	11	0	0	0	6	0	100	100
		Maebashi	21	6	0	0	0	0	0	0	7	0	100	80
	C	Tokyo	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0
		Nagoya	28	11	0	0	12	1	0	0	9	0	100	88
		Osaka	23	5	0	0	10	0	0	0	6	0	100	18
	D	Hiroshima	36	11	0	0	18	1	0	0	7	0	100	79
		Fukuoka	33	12	0	0	25	1	0	0	9	0	100	2
		Kumamoto	30	11	0	0	13	0	0	0	8	0	100	79
V	D	Kagoshima	36	11	0	0	22	0	0	0	8	0	100	48
VI	E	Naha	54	23	0	0	53	13	0	0	6	0	36	0

can be a source of volatile organic compounds that can degrade indoor air quality. Colour, texture, finish changes from room to room, and other customer preferences, can result in products of incorrect permeance being used to appeal to the home buyer. Further, once occupied, the interior finishes of the house can easily be modified by the home owner, resulting in changes in the permeance of the interior surface of the wall with potential detrimental impact on its moisture-control performance. Still, if such problems can be overcome, simply changing the interior finish of a wall assembly allows it to be easily modified for various climates.

### *Effect of interstitial humidity control by a moisture adsorption and desorption material*

One option for controlling moisture in Wall B with a vapour-barrier in regions C and D is to use an interior finish board with high moisture capacity—a moisture adsorption and desorption material or “desiccant board”. Figure 3 illustrates the differences in water sorption a desiccant board, plywood and plaster board. From this it can be seen that a desiccant board could absorb moisture released from the exterior sheathing (e.g. plywood) due to temperature rise (solar driven moisture) and diffused inward through the batt insulation. This approach could prevent humidity level increase at the interior surface of the insulation against the interior finish board on hot summer days.

The results of Wall D using a desiccant board are shown in Table 3. The risk rate of moisture damage for Wall D decreases drastically in all the regions during the summer; however, increased winter humidity levels can be seen in regions A and B even where a vapour-barrier primer is installed. The use of a desiccant board then is appropriate only in regions C, D and E; it is inappropriate in regions A and B where winter moisture control is the principle concern. It should be noted that the cumulative ratio

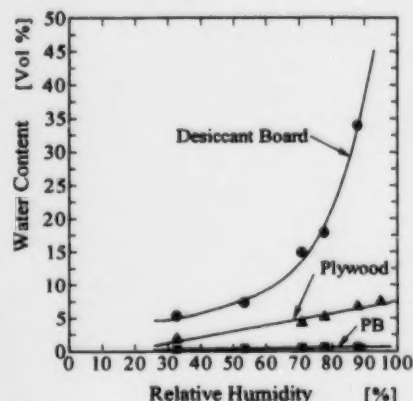


Fig.3 Equilibrium water content among Desiccant board, Plywood and Plaster board

Table 3 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall D (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region	City	Wall B using Plaster Board with VB Primer				Wall D using Desiccant Board							
		Summer		Winter		with VB Primer				No Finish			
		80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	19	4	62	0	0	0	0	1	0	100	100
		Asahikawa	1	0	94	42	0	0	0	0	0	100	100
		Sapporo	3	0	48	1	0	0	0	0	0	100	100
II	A	Akita	14	3	0	0	0	0	15	0	0	100	77
		Morioka	11	1	12	0	0	0	52	6	0	100	100
III	A	Sendai	26	7	0	0	2	0	25	3	2	0	100
		Niigata	17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100
		Matsumoto	7	0	36	0	0	0	0	0	0	0	100
IV	B	Toyama	26	5	32	0	0	0	0	0	0	100	91
		Maebashi	21	6	0	0	0	0	0	0	0	72	3
	C	Tokyo	12	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
		Nagoya	0	0	0	0	1	0	9	1	1	0	100
		Osaka	23	5	0	0	0	0	1	0	0	73	5
	D	Hiroshima	0	0	0	0	7	0	0	0	1	0	100
		Fukuoka	0	0	0	0	1	0	0	0	2	47	2
		Kumamoto	0	0	0	0	2	0	5	0	0	0	100
V	D	Kagoshima	0	0	0	0	2	0	11	0	0	0	100
VI	E	Naha	0	0	0	0	60	0	0	0	5	10	0

\* moisture adsorption and desorption material

above 80% in region E is still high in summer when using a vapour-barrier primer finish; that of the no-finish system however is quite low. It can therefore be concluded that the use of a desiccant board is effective in the regions C, D and E, but that a very permeable interior finish is required in region E.

### *Effectiveness of exterior wall insulation*

Table 4 shows the summer and winter cumulative ratios for RH over 80% and 90% for Wall E. It shows that the summer moisture control performance of Wall E with a vapour barrier primer is acceptable in all regions except region E. The amount of moisture that diffuses inward is reduced by the low permeability of the exterior rigid insulation, which also restricts the internal temperature rise of the wall cavity and moisture desorption from the materials. Comparing both assemblies when using a vapour-barrier paint, wall E performs significantly better than wall B.

In terms of winter performance Wall E experiences less than half the humidity levels of Wall B because the rigid insulation moderates internal temperatures. Given the reduced permeance of the exterior insulation, it is important in this assembly to ensure a good interior vapour barrier in all but the very hot climate situations. This is illustrated in Table 4 by the high amounts of condensation experienced if an interior vapour barrier is omitted.

Airtightness, an indispensable feature for moisture control in cold conditions, is even more important for Wall E because of its lower permeability at the exterior portion of the wall assembly. However, with a properly installed vapour barrier and air barrier, the winter risk rate for Wall E is low even in Asahikawa, where Wall B experiences problems. The analysis shows Wall E provides better moisture control than Wall B in all regions, particularly in those regions with high outside relative humidity in the winter. It is applicable (with a vapour barrier primer) to regions A to D without modification.

Wall E with no finish also avoids summer interstitial condensation in region E. However, the cumulative ratio above RH 80% in winter is rather high, introducing the possibility of moisture damage from mold because the mild winters experienced in this region. Accordingly, Wall E should

Table 4 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B with VB Primer				Wall E with External Insulation							
							with VB Primer				No Finish			
			Summer		Winter		Summer		Winter		Summer		Winter	
			80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	19	4	62	0	1	0	0	0	1	0	100	100
		Asahikawa	1	0	98	47	0	0	0	0	1	0	100	100
		Sapporo	3	0	48	1	0	0	0	0	1	0	100	100
II	A	Akita	14	3	0	0	3	0	0	0	5	0	100	100
		Morioka	11	1	12	0	1	0	0	0	3	0	100	100
III	A	Sendai	26	7	0	0	2	0	0	0	4	0	100	100
		Niigata	17	2	0	0	3	0	0	0	6	0	100	100
		Matsumoto	7	0	36	0	0	0	0	0	0	0	100	100
IV	B	Toyama	26	5	32	0	11	0	0	0	6	0	100	100
		Maebashi	21	6	0	0	0	0	0	0	7	0	100	100
		Tokyo	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0
	C	Nagoya	28	11	0	0	12	1	0	0	9	0	100	100
		Osaka	23	5	0	0	10	0	0	0	6	0	100	100
		Hiroshima	27	11	0	0	18	1	0	0	7	0	100	100
	D	Fukuoka	33	12	0	0	25	1	0	0	9	0	100	2
		Kumamoto	20	11	0	0	13	0	0	0	8	0	100	75
		Kagoshima	20	11	0	0	22	0	0	0	8	0	100	100
V	D	Kagoshima	20	11	0	0	22	0	0	0	8	0	100	100
VI	E	Naha	14	24	0	0	53	13	0	0	6	0	36	0



not be constructed in Region E.

## INFLUENCE OF AIR LEAKAGE ON INTERSTITIAL HUMIDITY

Tables 5 to 7 show the influences of air leakage on the risk rate of moisture damage in both summer and winter. The amount of air leakage is estimated from normalized leakage area (NLA) and the pressure difference between the inside and outside of the building. NLA is shown in the table as the indicator for amount of air leakage. The actual leakage area for the wall is estimated from a measured value and is standardized to 10.3% of all leakage area for the whole building ( $0.16\text{cm}^2$  per  $1\text{m}^2$  of the wall area which does not include leakage through window, door and other miscellaneous leakage points) in case of NLA  $1\text{cm}^2/\text{m}^2$  of floor area.

The risk rate of moisture damage in winter tends to be directly influenced by air leakage and increases with increased NLA. This is particularly true for cold regions like regions A and B. The cumulative ratio for Wall E (with exterior rigid insulation) changes rapidly with increased air leakage because of the low moisture permeability of the rigid insulation and the moisture that flows into the wall from the room with air leakage and remains stagnant in the walls. When the NLA is  $5\text{cm}^2/\text{m}^2$ , the risk rate of Wall E is equal to or larger than that of Wall B. However in

Table 5 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall B (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region	City	Wall B with Poly Vapour Barrier									
		Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
		Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
		0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	23	23	23	24	24	0	0	0	3
		Asahikawa	3	3	3	3	3	0	0	0	0
		Sapporo	6	6	6	6	6	0	0	2	6
II	A	Akita	18	18	18	18	17	0	0	0	0
		Morioka	16	16	16	16	16	0	0	0	1
III	A	Sendai	22	22	22	22	22	0	0	0	0
		Nigata	22	22	22	22	22	0	0	0	0
		Matsumoto	14	14	14	14	14	0	0	0	1
IV	B	Tovama	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		Maebashi	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	18	17	17	16	16	0	0	0	0
		Nagoya	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Osaka	0	0	0	0	24	0	0	0	0
	D	Hiroshima	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Fukuoka	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Kumamoto	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 6 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall D (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region	City	Wall D with Vapour Barrier Primer									
		Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
		Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
		0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	0	1	1	1	1	0	0	0	0
		Asahikawa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sapporo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	A	Akita	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		Morioka	0	0	0	0	0	6	8	0	0
III	A	Sendai	2	2	2	2	2	3	4	6	7
		Nigata	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Matsumoto	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IV	B	Tovama	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Maebashi	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Nagoya	1	1	1	1	2	1	1	1	2
		Osaka	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	D	Hiroshima	7	7	7	7	7	0	0	0	0
		Fukuoka	1	1	1	1	1	0	0	0	0
		Kumamoto	2	2	1	1	1	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	2	2	3	3	3	0	0	0	0
VI	E	Naha	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Asahikawa, the risk rate of Wall E is less than that of the Wall B if the NLAs are the same and under



5 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. The influence of air leakage in winter is minimal in the regions C, D and E if NLA is under 5 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

The influence of air leakage on the risk rate in summer is far less than that of winter. The only risk rate that increases is that of Wall E with increasing NLA in Fukuoka and Kagoshima; however, the risk rate remains less than that of Wall B, and the cumulative ratio above 90% is very low, as shown in Fig.4. Moisture damage is therefore not likely to occur.

The risk rate in Naha becomes lower with the increasing NLA in summer, and there is no risk of moisture damage in winter. There is therefore no need to increase airtightness of walls in the region E for prevention of moisture damage from humidity. However, Naha is also a region that experiences significant amounts of driving rain. If a rain screen is used as a defence against driving rain, airtightness becomes important as a component of the pressurization system.

## CONCLUSION

The following wall assemblies can be recommended as appropriate for the various regions of Japan. The regional variances for each assembly are shown in Table 8.

- B. Exterior finish /  
Ventilated cavity /  
Housewrap / Plywood  
sheathing / 2×4s and Batt  
insulation / Poly vapour  
barrier / Plaster board
- B'. Exterior finish /  
Ventilated cavity /  
Housewrap / Plywood  
sheathing / 2×4s and Batt  
insulation / Plaster board  
/ Vapour barrier primer  
(or no finish)
- C. Exterior finish /  
Ventilated cavity /  
Housewrap / Plywood  
sheathing / 2×4s and  
Rigid insulation / Poly

Table 7 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region	City	Wall E with Vapour Barrier Primer									
		Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
		Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
		0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	1	3	4	6	8	0	0	0	0
		Asahikawa	0	0	0	0	1	0	0	0	3
		Sapporo	0	0	0	1	1	0	0	0	0
II	A	Akita	3	5	7	8	10	0	0	0	0
		Morioka	1	2	3	4	6	0	0	0	0
III	A	Sendai	2	4	5	6	9	0	0	0	0
		Nigata	3	7	10	11	14	0	0	0	0
		Matsumoto	0	0	0	1	2	0	0	0	2
IV	B	Toyama	11	16	20	23	27	0	0	0	0
		Maebashi	0	1	3	6	9	0	0	0	0
	C	Tokyo	0	0	0	1	1	0	0	0	0
		Nagoya	12	15	17	18	19	0	0	0	0
		Osaka	10	12	13	14	14	0	0	0	0
	D	Hiroshima	18	20	21	22	22	0	0	0	0
		Fukuoka	22	23	24	25	25	0	0	0	0
		Kumamoto	13	15	17	19	21	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	22	23	24	25	25	0	0	0	0
VI	E	Naha	23	24	25	26	26	0	0	0	0

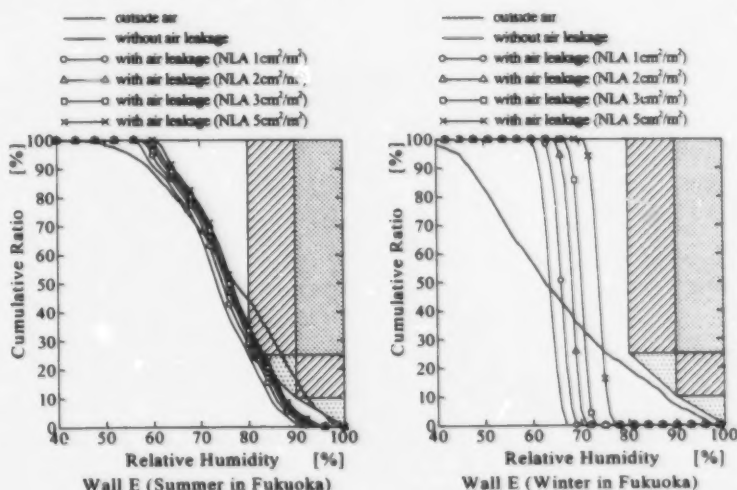


Fig.4 Cumulative ratio of time in high relative humidity range on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during July to August and January to February)

not be constructed in Region E.

## INFLUENCE OF AIR LEAKAGE ON INTERSTITIAL HUMIDITY

Tables 5 to 7 show the influences of air leakage on the risk rate of moisture damage in both summer and winter. The amount of air leakage is estimated from normalized leakage area (NLA) and the pressure difference between the inside and outside of the building. NLA is shown in the table as the indicator for amount of air leakage. The actual leakage area for the wall is estimated from a measured value and is standardized to 10.3% of all leakage area for the whole building (0.16cm<sup>2</sup> per 1m<sup>2</sup> of the wall area which does not include leakage through window, door and other miscellaneous leakage points) in case of NLA 1cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> of floor area.

The risk rate of moisture damage in winter tends to be directly influenced by air leakage and increases with increased NLA. This is particularly true for cold regions like regions A and B. The cumulative ratio for Wall E (with exterior rigid insulation) changes rapidly with increased air leakage because of the low moisture permeability of the rigid insulation and the moisture that flows into the wall from the room with air leakage and remains stagnant in the walls. When the NLA is 5 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, the risk rate of Wall E is equal to or larger than that of Wall B. However in

Table 5 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall B (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B with Poly Vapour Barrier									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	25	25	25	24	24	0	0	0	3	26
		Asahikawa	3	3	3	3	3	39	46	55	64	79
		Sapporo	6	6	6	6	6	0	0	2	6	21
II	A	Akita	18	18	18	18	17	0	0	0	0	0
		Morioka	16	16	16	16	16	0	0	0	0	1
III	A	Sendai	27	27	27	27	26	0	0	0	0	0
		Nigata	22	22	22	22	22	0	0	0	0	0
		Matsumoto	14	14	14	14	14	0	0	0	1	5
IV	B	Toyama	30	30	30	30	30	0	0	0	0	1
		Maebashi	25	25	25	25	25	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	18	17	17	16	16	0	0	0	0	0
		Nagoya	31	30	30	29	28	0	0	0	0	0
		Osaka	27	26	26	25	24	0	0	0	0	0
	D	Hiroshima	37	37	36	36	36	0	0	0	0	0
		Fukuoka	35	35	35	35	35	0	0	0	0	0
		Kumamoto	32	32	32	31	30	0	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	37	37	37	36	35	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	52	50	48	46	42	0	0	0	0	0

Table 6 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall D (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall D with Vapour Barrier Primer									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	0	1	1	1	1	29	36	44	51	63
		Asahikawa	0	0	0	0	0	68	73	77	80	83
		Sapporo	0	0	0	0	0	36	39	46	51	62
II	A	Akita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		Morioka	0	0	0	0	0	6	8	11	15	23
III	A	Sendai	2	2	2	2	2	3	4	6	7	11
		Nigata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Matsumoto	0	0	0	0	0	21	25	28	33	42
IV	B	Toyama	0	0	0	0	0	13	17	21	24	31
		Maebashi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Nagoya	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
		Osaka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	D	Hiroshima	7	7	7	7	7	0	0	0	0	0
		Fukuoka	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
		Kumamoto	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	2	2	3	3	3	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	60	60	48	43	34	0	0	0	0	0

Asahikawa, the risk rate of Wall E is less than that of the Wall B if the NLAs are the same and under

5 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. The influence of air leakage in winter is minimal in the regions C, D and E if NLA is under 5 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

The influence of air leakage on the risk rate in summer is far less than that of winter. The only risk rate that increases is that of Wall E with increasing NLA in Fukuoka and Kagoshima; however, the risk rate remains less than that of Wall B, and the cumulative ratio above 90% is very low, as shown in Fig.4. Moisture damage is therefore not likely to occur.

The risk rate in Naha becomes lower with the increasing NLA in summer, and there is no risk of moisture damage in winter. There is therefore no need to increase airtightness of walls in the region E for prevention of moisture damage from humidity. However, Naha is also a region that experiences significant amounts of driving rain. If a rain screen is used as a defence against driving rain, airtightness becomes important as a component of the pressurization system.

## CONCLUSION

The following wall assemblies can be recommended as appropriate for the various regions of Japan. The regional variances for each assembly are shown in Table 8.

- B. Exterior finish /  
Ventilated cavity /  
Housewrap / Plywood  
sheathing / 2×4s and Batt  
insulation / Poly vapour  
barrier / Plaster board
- B'. Exterior finish /  
Ventilated cavity /  
Housewrap / Plywood  
sheathing / 2×4s and Batt  
insulation / Plaster board  
/ Vapour barrier primer  
(or no finish)
- C. Exterior finish /  
Ventilated cavity /  
Housewrap / Plywood  
sheathing / 2×4s and  
Rigid insulation / Poly

Table 7 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall E with Vapour Barrier Primer									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	1	3	4	6	8	0	0	0	0	56
		Asahikawa	0	0	0	0	1	0	0	0	3	75
		Sapporo	0	0	0	1	1	0	0	0	0	24
II	A	Akita	3	5	7	8	10	0	0	0	0	0
		Morioka	1	2	3	4	6	0	0	0	0	0
III	A	Sendai	2	4	5	6	9	0	0	0	0	0
		Nigata	3	7	10	11	14	0	0	0	0	0
		Matsumoto	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2
IV	B	Toyama	11	16	20	23	27	0	0	0	0	0
		Maebashi	0	1	3	6	9	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		Nagoya	12	15	17	18	19	0	0	0	0	0
		Osaka	10	12	13	14	14	0	0	0	0	0
	D	Hiroshima	18	20	21	22	22	0	0	0	0	0
		Fukuoka	25	29	31	33	35	0	0	0	0	0
V	D	Kumamoto	13	15	17	19	21	0	0	0	0	0
		Kagoshima	22	25	27	29	29	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	53	51	47	43	34	0	0	0	0	0

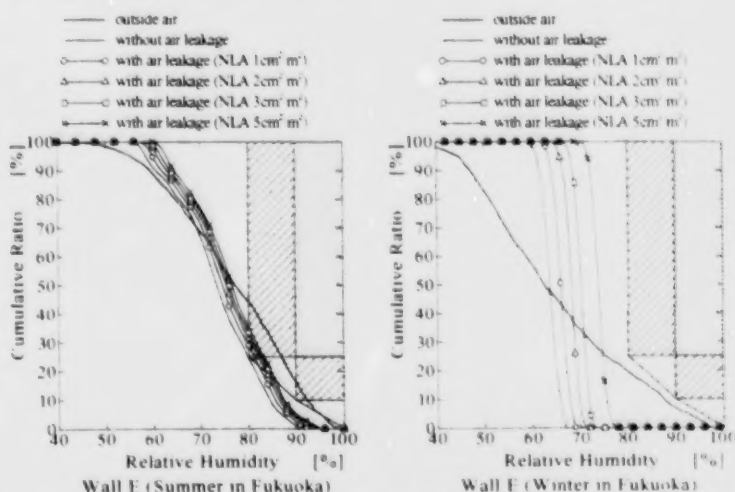


Fig.4 Cumulative ratio of time in high relative humidity range on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during July to August and January to February)

vapour barrier (or Vapour-barrier primer finish) / Plaster board

D. Exterior finish / Ventilated cavity / Housewrap / Plywood sheathing / 2×4s and Batt insulation / desiccant interior finish board / Vapour barrier primer

E. Exterior finish / Ventilated cavity / Housewrap / Rigid insulation (25mm) / Plywood sheathing / 2×4s and Batt insulation / Plaster board / Vapour barrier primer

Wall B with the polyethylene vapour barrier should only be used in region A. However, if an additional margin of safety is desired, it is inappropriate for cities such as Asahikawa and Sendai—i.e. where high humidity is experienced in winter or where the summer water potential of the outside air is higher than 125kJ/kg.

The potential for moisture damage, represented by the

cumulative ratio for high relative humidity, does not differ significantly for Wall B whether a primer or polyethylene vapour barrier is used, either in summer or in winter. The increased moisture capacity of the plaster board is insufficient to adequately reduce interstitial moisture levels. However, use of a vapour barrier primer, with its permeance being slightly higher than that of polyethylene, does render wall B appropriate for Region B as well, and by extension is likely more applicable to exceptions like Sendai. Wall B' with no finish is applicable in region E.

While not discussed in detail in this paper, previous work (on which this paper is based), shows that the relative humidity of Wall C is maintained at low levels throughout the year in all regions. As long as detailing of insulation and air sealing around plumbing and wiring work and at framing is done correctly, Wall C demonstrates excellent performance for insulation and moisture control.

Wall D, using a desiccant board finished with vapour-barrier primer, performs well in all regions (except E) during the summer, but experiences moisture problems in colder regions A and B during the winter. It is concluded then that using desiccant board is appropriate for regions C, D and E only. In region E, no interior vapour barrier (polyethylene or vapour-barrier primer) should be used.

If a vapour barrier and air barrier are properly installed in Wall E, the risk of moisture damage is minimized in regions A to D throughout the year. The rigid insulation on the exterior prevents internal temperature of the wall from dropping in the winter and reduces inward moisture diffusion and desorption from internal materials in the summer.

Table 8 Regional propriety of envelope assembly

Envelope Assemblies		Regional Classification				
		A	B	C	D	E
Wall B with Poly VB	Propriety	□	×	×	×	×
	Interior Finish	All				
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	< 3				
Wall B without Poly VB	Propriety	□	○	×	×	○
	Interior Finish	VBP	VBP			No Finish
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	< 3	< 5			All
Wall C	Propriety	○	○	○	○	○
	Interior Finish	PVR / VBP	PVR / VBP	PVR / VBP	PVR / VBP	All
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	< 3	< 5	< 5	< 5	All
Wall D without Poly VB	Propriety	×	×	○	○	○
	Interior Finish			VBP	VBP	No Finish
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]			< 5	< 5	All
Wall E without Poly VB	Propriety	○	○	○	□	×
	Interior Finish	VBP	VBP	VBP	VBP	
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	< 3	< 5	< 5	< 5	

○: meets the moisture control guidelines

□: just a little over the moisture control guidelines in some parts of the region

□: does not meet the moisture control guidelines in some parts of the region

×: does not meet the moisture control guidelines

## REFERENCES

- [1] Ozaki, A. and Kevin Lee, "Efficient and Durable Building Envelopes for Japan Part 1: Regional Classifications for Moisture Control in Japan", *Proc. of 5th Canada/Japan Housing R&D Workshop*, 1999



# 湿害防止を目的とした壁体の断熱気密仕様

## その2 各地域に適する壁体構成

尾崎 明仁, R. Kevin Lee

Natural Resources Canada, CANMET Energy Technology Centre  
580 Booth Street, 13<sup>th</sup> Floor, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 Canada

### 1. はじめに

47 都道府県の水分ポテンシャル (7~8 月の平均値) と温度 (1~2 月の平均値) を指標 (表 1 参照) として、前報<sup>1)</sup> で定義した気候区分「通年に亘る湿害予防のための地域区分 A~E」に適する壁体の断熱気密仕様について検討する。本論文では、1) 内装材側の透湿性・非透湿性、2) 内装材の調湿作用の有無、3) 外断熱による躯体材料の温度上昇と放湿の抑制、4) 気密性の違い (漏気・漏湿) による内部湿度への影響について明らかにし、各地域に適用できる壁体構成と仕様を提案する。

Table 1 Monthly mean values of water potential and temperature

Classification		Prefecture	WP [kJ/kg] Jul. to Aug.	Temp. [°C] Jan. to Feb.	Classification		Prefecture	WP [kJ/kg] Jul. to Aug.	Temp. [°C] Jan. to Feb.
Dew Proof	Energy Saving				Dew Proof	Energy Saving			
A	I	Hokkaido	102	-5.2	C	IV	Kyoto	130	4.2
A	II	Aomori	117	-1.8	C	IV	Osaka	131	5.6
A	II	Iwate	120	-2.2	C	IV	Hyogo	136	4.8
A	II	Akita	123	-0.4	C	IV	Nara	137	3.5
A	III	Miyagi	126	1.1	C	IV	Tottori	138	3.7
A	III	Yamagata	123	-0.8	C	IV	Okayama	139	4.8
A	III	Fukushima	125	1.2	C	IV	Ehime	134	5.4
A	III	Nagano	119	-0.9	D	IV	Mie	140	4.6
A	IV	Yamanashi	129	2.7	D	IV	Wakayama	143	6.6
B	III	Niigata	132	2.2	D	IV	Shimane	141	3.8
B	III	Tochigi	132	1.9	D	IV	Hiroshima	140	4.2
B	IV	Ibaragi	135	2.7	D	IV	Yamaguchi	143	5.9
B	IV	Toyama	136	2.1	D	IV	Tokushima	141	5.5
B	IV	Ishikawa	134	2.9	D	IV	Kagawa	141	4.9
B	IV	Fukui	134	2.6	D	IV	Kochi	143	6.1
C	IV	Gunma	131	3.0	D	IV	Fukuoka	141	6.1
C	IV	Gifu	137	4.0	D	IV	Saga	146	5.5
C	IV	Shiga	135	3.2	D	IV	Nagasaki	146	6.7
C	IV	Saitama	134	3.5	D	IV	Kumamoto	143	5.5
C	IV	Chiba	139	5.9	D	IV	Oita	142	5.7
C	IV	Tokyo	132	5.4	D	V	Miyazaki	149	7.4
C	IV	Kanagawa	137	5.2	D	V	Kagoshima	147	7.7
C	IV	Shizuoka	137	6.4	E	VI	Okinawa	154	15.2
C	IV	Aichi	137	4.0					

### 2. 壁体モデルの構成

内装材側の防湿施工 (内装材裏面ポリエチレンフィルムなど) は、室内から壁体内部への透湿を抑制するため、冬季の湿害 (内部結露) が問題となる寒地に適する。しかし、外気が多湿な夏季は却って壁体内部を高湿化するため、特に蒸暑地域では湿害 (内部結露、カビ、腐朽) の原因となる<sup>1)</sup>。夏季湿害は、①多湿な外気、②温度上昇 (日射受熱) による材料からの放湿、③壁体内部の湿気拡散、④湿気の停滞と冷却 (内装材側) に起因するため (図 1 参照)、壁体内部の湿気拡散を制限 (例





# 湿害防止を目的とした壁体の断熱気密仕様

## その2 各地域に適する壁体構成

尾崎明仁, R. Kevin Lee

Natural Resources Canada, CANMET Energy Technology Centre

580 Booth Street, 13<sup>th</sup> Floor, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 Canada

### 1. はじめに

47 都道府県の水分ポテンシャル（7～8月の平均値）と温度（1～2月の平均値）を指標（表1参照）として、前報<sup>1)</sup>で定義した気候区分「通年に亘る湿害予防のための地域区分A～E」に適する壁体の断熱気密仕様について検討する。本論文では、1) 内装材側の透湿性・非透湿性、2) 内装材の調湿作用の有無、3) 外断熱による躯体材料の温度上昇と放湿の抑制、4) 気密性の違い（漏気・漏湿）による内部湿度への影響について明らかにし、各地域に適用できる壁体構成と仕様を提案する。

Table 1 Monthly mean values of water potential and temperature

Classification		Prefecture	WP [kJ/kg] Jul. to Aug.	Temp. [°C] Jan. to Feb.	Classification		Prefecture	WP [kJ/kg] Jul. to Aug.	Temp. [°C] Jan. to Feb.
Dew Proof	Energy Saving				Dew Proof	Energy Saving			
A	I	Hokkaido	102	-5.2	C	IV	Kyoto	130	4.2
A	II	Aomori	117	-1.8	C	IV	Osaka	131	5.6
A	II	Iwate	120	-2.2	C	IV	Hyogo	136	4.8
A	II	Akita	123	-0.4	C	IV	Nara	137	3.5
A	III	Miyagi	126	1.1	C	IV	Tottori	138	3.7
A	III	Yamagata	123	-0.8	C	IV	Okayama	139	4.8
A	III	Fukushima	125	1.2	C	IV	Ehime	134	5.4
A	III	Nagano	119	-0.9	D	IV	Mie	140	4.6
A	IV	Yamanashi	129	2.7	D	IV	Wakayama	143	6.6
B	III	Niigata	132	2.2	D	IV	Shimane	141	3.8
B	III	Tochigi	132	1.9	D	IV	Hiroshima	140	4.2
B	IV	Ibaragi	135	2.7	D	IV	Yamaguchi	143	5.9
B	IV	Tochigi	136	2.1	D	IV	Tokushima	141	5.5
B	IV	Ishikawa	134	2.9	D	IV	Kagawa	141	4.9
B	IV	Fukui	134	2.6	D	IV	Kochi	143	6.1
C	IV	Gunma	131	3.0	D	IV	Fukuoka	141	6.1
C	IV	Gifu	137	4.0	D	IV	Saga	146	5.5
C	IV	Shiga	135	3.2	D	IV	Nagasaki	146	6.7
C	IV	Saitama	134	3.5	D	IV	Kumamoto	143	5.5
C	IV	Chiba	139	5.9	D	IV	Oita	142	5.7
C	IV	Tokyo	132	5.4	D	V	Miyazaki	149	7.4
C	IV	Kanagawa	137	5.2	D	V	Kagoshima	147	7.7
C	IV	Shizuoka	137	6.4	E	VI	Okinawa	154	15.2
C	IV	Aichi	137	4.0					

### 2. 壁体モデルの構成

内装材側の防湿施工（内装材裏面ポリエチレンフィルムなど）は、室内から壁体内部への透湿を抑制するため、冬季の湿害（内部結露）が問題となる寒地に適する。しかし、外気が多湿な夏季は却って壁体内部を高湿化するため、特に蒸暑地域では湿害（内部結露、カビ、腐朽）の原因となる<sup>1)</sup>。夏季湿害は、①多湿な外気、②温度上昇（日射受熱）による材料からの放湿、③壁体内部の湿気拡散、④湿気の停滞と冷却（内装材側）に起因するため（図1参照）、壁体内部の湿気拡散を制限（例

例えば、透湿抵抗の大きい発泡系断熱材の使用)すれば簡単に予防できる<sup>1)</sup>。しかし、たとえ壁体内部を湿気が容易に拡散する場合(繊維系断熱材を使用した場合)でも、(a)内装材側の透湿(非防湿)施工(室内への透湿による湿気停滞の緩和)、(b)湿気容量の大きい内装材(吸放湿材料)の使用(壁体内部の調湿)、(c)発泡系断熱材による外断熱(外気から壁体内部への透湿抑制)と躯体温度の上昇緩和)などの対策が考えられる(図2参照)。そこで、18地域を対象(前報<sup>1)</sup>図8参照)に、図2に示す壁体モデルB', C, Dの温湿度変動を数値シミュレーションにより解析し、湿害防止基準(前報<sup>1)</sup>表2参照)を指標として各壁体モデルの地域A~Eへの適用の可否について判断する。

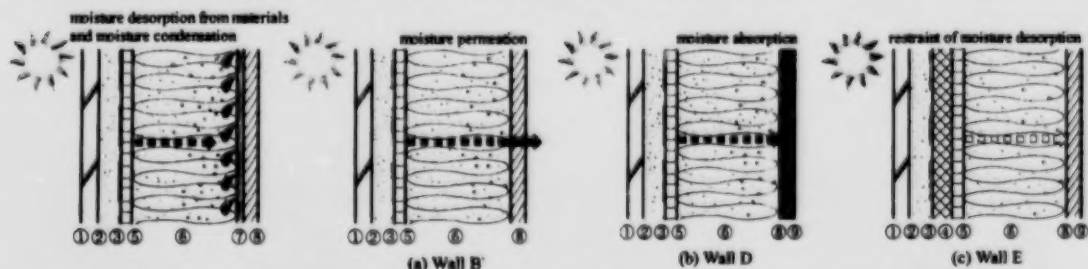


Fig.1 Internal moisture condensation in summer

① Exterior finish ② Cavity layer ③ Housewrap ④ Rigid insulation ⑤ Plywood  
⑥ 2x4s and batt insulation ⑦ Poly vapour barrier ⑧ Plaster board ⑨ Vapour barrier primer

Fig.2 Practical measures to prevent moisture damage in summer

### 3. 湿害予防のための壁体仕様

#### 3.1 内装材側の防湿施工による内部湿度への影響

表2に、夏季(7~8月)と冬季(1~2月)に、内部相対湿度(繊維系断熱材の内・外境界部分)が80%以上、90%以上になる累積時間の割合「累積率(湿害の危険率)」を示す。ここでは、内装材裏面をポリエチレンフィルム「PVB: polyethylene vapour barrier」で防湿した壁体B(前報<sup>1)</sup>図1参照)と防湿しない壁体B'の違いについて比較する。壁体B'については、内装仕上げのない場合「No Finish」とビニルクロス「VW: vinyl wallpaper<sup>1)</sup>」あるいは防湿塗装「VBP: vapour barrier primer」で内装仕上げした場合の3仕様を考える。なお、80%以上の湿害の危険率は夏季でも北壁が最も高いことから(前報<sup>1)</sup>参照)、夏季・冬季いずれも北壁の結果を示す。

壁体Bの冬季の内部相対湿度は、旭川を除く全地域において90%以下(地域C, D, Eは80%以下)に保たれる。なお、根室、札幌では80%以上の累積率が多いが、温度が低いため湿害(カビ、腐朽)の危険性は少ないと考えられる。旭川は外気の温度が低く、相対湿度が高い(1~2月平均値: -8.1℃, 80%)ため通気層からの排湿が困難で、内装材側を防湿施工したとしても計算対象18地域の中で唯一湿害(結露・結氷)の可能性がある。このことは、地域Aには冬季に通気層の効果を期待できない例外「地域A'」が在ることを示している。一方、壁体Bの夏季湿害の危険率は、仙台と地域B~Eで多い。仙台は地域A(宮城県)に属するが、夏季の外気的水分ポテンシャルは湿害防止基準

<sup>1)</sup> ここでは、一般的な内装仕上げ材としてビニルクロスを使用した。ビニルクロスおよびその接着剤はしばしば揮発性有機化合物(VOCs)の発生源となり室内空気を汚染するため、その他の低毒性材料を用いることが望ましい。湿害予防のための壁体構成として内装仕上げ材の透湿抵抗を勘案する場合は、ビニルクロス以外の材料を選択すべきである。

Table 2 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside and outside interface of batt insulation of Wall B (on the north during July to August and January to February)

Region		City	during July to August (Wall B on the North)								during January to February (Wall B on the North)							
			without Poly Vapour Barrier						with PVB		without Poly Vapour Barrier						with PVB	
			No Finish		VW		VBP				No Finish		VW		VBP			
			80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	12	1	17	2	19	4	25	7	100	100	100	100	62	0	54	0
		Asahikawa	4	0	2	0	1	0	3	0	100	100	100	100	94	42	94	39
		Sapporo	4	0	4	0	3	0	6	2	100	100	100	95	48	1	44	0
II	A	Akita	12	0	13	2	14	3	18	6	100	79	55	0	0	0	0	0
		Morioka	12	0	11	0	11	1	16	4	100	100	100	53	12	0	9	0
III	B	Sendai	15	2	21	5	26	7	27	12	97	63	51	10	0	0	0	0
		Niigata	15	0	17	1	17	2	22	8	100	32	17	0	0	0	0	0
		Matsumoto	11	0	9	0	7	0	14	1	100	91	89	57	36	0	31	0
IV	B	Toyama	19	0	23	3	26	5	30	12	100	97	100	29	32	0	28	0
		Maebashi	19	1	21	5	21	6	25	11	77	0	0	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	11	0	13	0	12	0	18	2	3	0	0	0	0	0	0	0
		Nagoya	18	2	24	7	28	11	31	15	83	46	31	0	0	0	0	0
		Osaka	14	0	19	2	23	5	27	13	79	0	1	0	0	0	0	0
		Hiroshima	20	1	28	5	36	11	37	17	96	17	6	0	0	0	0	0
	D	Fukuoka	21	1	28	6	33	12	35	17	42	0	0	0	0	0	0	0
		Kumamoto	19	1	25	7	30	11	32	16	99	14	21	0	0	0	0	0
		Kagoshima	21	0	29	7	36	11	37	18	92	10	23	0	0	0	0	0
	V	D	Kagoshima	21	0	29	7	36	11	37	18	92	10	23	0	0	0	0
VI	E	Naha	25	2	38	10	54	23	52	28	4	0	0	0	0	0	0	

125kJ/kg より大きい (126kJ/kg, 表 1 参照)。つまり, 地域 A でも内装材側の防湿施工により夏季湿害の可能性のある例外「地域 B」が在る (地域 A は冬季の湿害予防に対して安全側を見積もり, 7 ~ 8 月の外気的水分ポテンシャル 130 kJ/kg 以下で定義<sup>1)</sup>される)。したがって, 壁体 B (内装材側を防湿施工し通気層を有す) は地域 A のみに適用できるが, 地域 A には地域 A' (冬季に通気層が機能しない外気湿度の高い地域) あるいは地域 B (夏季の外気水分ポテンシャルが 125 kJ/kg 以上の地域) として区分すべき例外地域がある。

蒸暑地域における夏季湿害の原因の一つは, 内装材裏面の気密防湿施工 (ポリエチレンフィルム「PBV」) であるため<sup>1)</sup>, ポリエチレンフィルム施工しない壁体は内装材による調湿と壁体内部から室内への透湿により夏季は内部湿度が低下する。表 1 に示すように, 夏季の内部相対湿度はポリエチレンフィルム施工した壁体より施工しない壁体 (防湿塗装仕上げ「VBP」, ビニルクロス仕上げ「VW」, 無仕上げ「No Finish」の 3 仕様) の方が低い値となる。ただし, 防湿塗装仕上げの壁体は地域 A と地域 B に適用できるものの, ポリエチレンフィルム施工の壁体 (地域 A のみに適用可能) と比較して, 湿害の危険率は僅かに低下する程度である。内装材裏面ポリエチレンフィルムの代わりに室内表面を防湿塗装することにより内装材の調湿作用を利用できる。しかし, 湿気容量の少ない材料 (石膏ボード) を使用した場合は夏季湿害の緩和効果は小さく, 地域 C ~ E には適用できない。一方, ビニルクロス仕上げの壁体と無仕上げの壁体の夏季湿害の危険性は, それぞれ地域 A ~ C と全地域において少ない。しかし, 冬季湿害の危険性は, それぞれ地域 A, B と地域 A ~ D で非常に多い。以上のことは, 内装仕上げの透湿性を各地域で調整することにより, 通年に亘る防止湿害が可能となることを示している。例えば, 防湿塗装仕上げは地域 A, B, ビニルクロス仕上げは地域 C (地域 D も可), 無仕上げは地域 E に適用できる。

各地域における内装仕上げの透湿性の調整は湿害防止対策の一つと考えられるが, 仕上げ材 (色, 材質など) は施主の予算と好みに応じて各室ごとに決められ, 透湿性の不適切な (透湿抵抗の大き

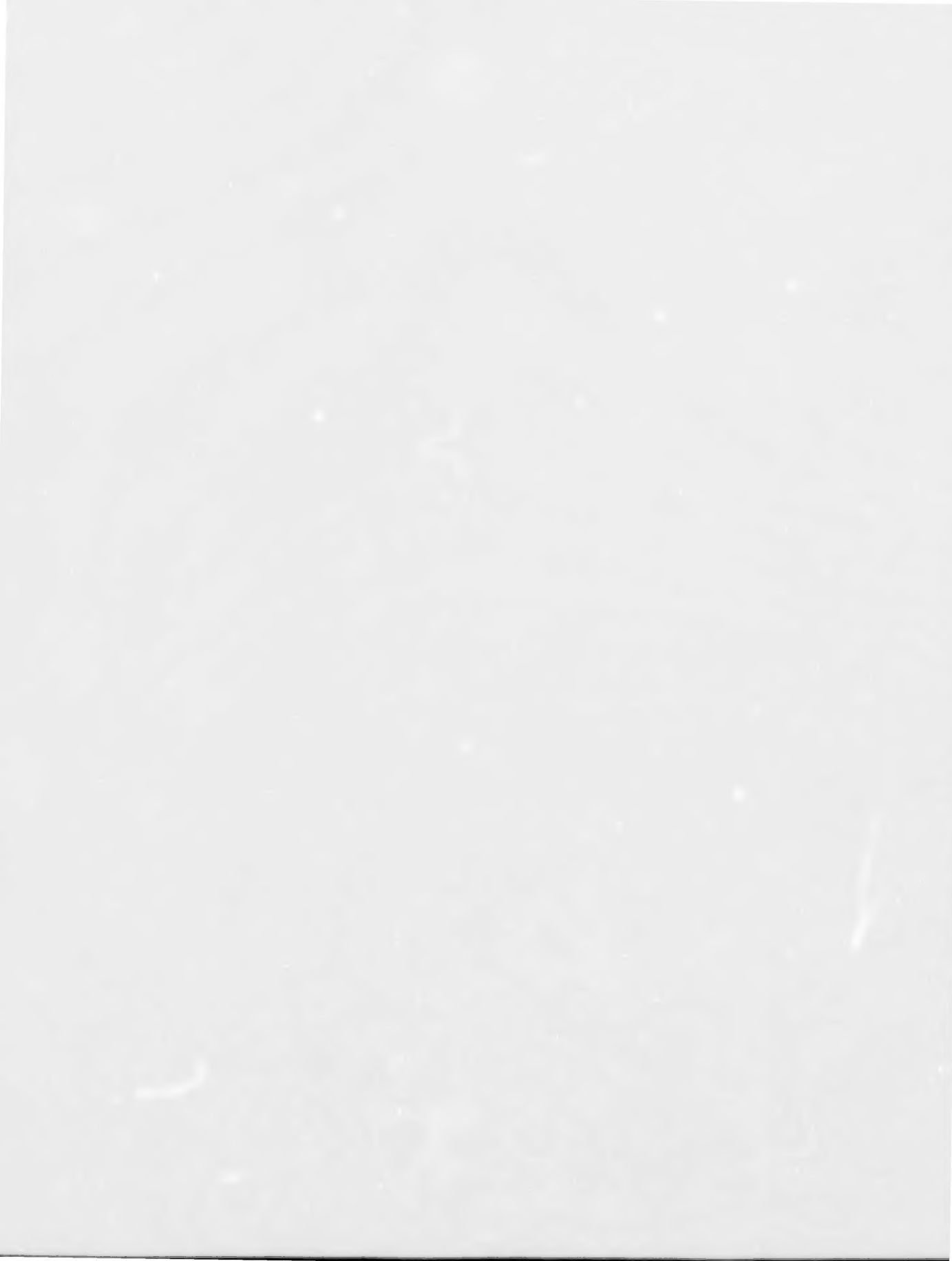




Table 2 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside and outside interface of batt insulation of Wall B (on the north during July to August and January to February)

Region		City	during July to August (Wall B on the North)								during January to February (Wall B on the North)							
			without Poly Vapour Barrier						with PVB		without Poly Vapour Barrier						with PVB	
			No Finish		VW		VBP				No Finish		VW		VBP			
			80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	12	1	17	2	19	4	25	7	100	100	100	100	62	0	54	0
		Asahikawa	4	0	2	0	1	0	3	0	100	100	100	100	94	42	94	39
		Sapporo	4	0	4	0	3	0	6	2	100	100	100	95	48	1	44	0
II	A	Akita	12	0	13	2	14	3	18	6	100	79	55	0	0	0	0	0
		Morioka	12	0	11	0	11	1	16	4	100	100	100	53	12	0	9	0
III	A	Sendai	15	2	21	5	26	7	27	12	97	63	51	10	0	0	0	0
	B	Niigata	15	0	17	1	17	2	22	8	100	32	17	0	0	0	0	0
	A	Matsumoto	11	0	9	0	7	0	14	1	100	91	89	57	36	0	31	0
IV	B	Toyama	19	0	23	3	26	5	30	12	100	97	100	29	32	0	28	0
		Maebashi	19	1	21	5	21	6	25	11	77	0	0	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	11	0	13	0	12	0	18	2	3	0	0	0	0	0	0	0
		Nagoya	18	2	24	7	28	11	31	15	83	46	31	0	0	0	0	0
		Osaka	14	0	19	2	23	5	27	10	79	0	0	0	0	0	0	0
		Hiroshima	20	1	28	5	36	11	37	17	96	17	6	0	0	0	0	0
	D	Fukuoka	21	1	28	6	33	12	35	17	42	0	0	0	0	0	0	0
		Kumamoto	19	1	25	7	30	11	32	16	99	14	21	0	0	0	0	0
	V	D	Kagoshima	21	0	29	7	36	11	37	18	92	10	23	0	0	0	0
VI	E	Naha	25	2	38	10	54	23	52	28	4	0	0	0	0	0	0	

125kJ/kg より大きい (126kJ/kg, 表 1 参照)。つまり、地域 A でも内装材側の防湿施工により夏季湿害の可能性のある例外「地域 B」が在る (地域 A は冬季の湿害予防に対して安全側を見積もり、7 ~ 8 月の外気の水分ポテンシャル 130 kJ/kg 以下で定義<sup>1)</sup>される)。したがって、壁体 B (内装材側を防湿施工し通気層を有す) は地域 A のみに適用できるが、地域 A には地域 A' (冬季に通気層が機能しない外気湿度の高い地域) あるいは地域 B (夏季の外気水分ポテンシャルが 125 kJ/kg 以上の地域) として区分すべき例外地域がある。

蒸暑地域における夏季湿害の原因の一つは、内装材裏面の気密防湿施工 (ポリエチレンフィルム「PBV」) であるため<sup>1)</sup>、ポリエチレンフィルム施工しない壁体は内装材による調湿と壁体内部から室内への透湿により夏季は内部湿度が低下する。表 1 に示すように、夏季の内部相対湿度はポリエチレンフィルム施工した壁体より施工しない壁体 (防湿塗装仕上げ「VBP」、ビニルクロス仕上げ「VW」、無仕上げ「No Finish」の 3 仕様) の方が低い値となる。ただし、防湿塗装仕上げの壁体は地域 A と地域 B に適用できるものの、ポリエチレンフィルム施工の壁体 (地域 A のみに適用可能) と比較して、湿害の危険率は僅かに低下する程度である。内装材裏面ポリエチレンフィルムの代わりに室内表面を防湿塗装することにより内装材の調湿作用を利用できる。しかし、湿気容量の少ない材料 (石膏ボード) を使用した場合は夏季湿害の緩和効果は小さく、地域 C ~ E には適用できない。一方、ビニルクロス仕上げの壁体と無仕上げの壁体の夏季湿害の危険性は、それぞれ地域 A ~ C と全地域において少ない。しかし、冬季湿害の危険性は、それぞれ地域 A, B と地域 A ~ D で非常に多い。以上のことは、内装仕上げの透湿性を各地域で調整することにより、通年に亘る防止湿害が可能となることを示している。例えば、防湿塗装仕上げは地域 A, B、ビニルクロス仕上げは地域 C (地域 D も可)、無仕上げは地域 E に適用できる。

各地域における内装仕上げの透湿性の調整は湿害防止対策の一つと考えられるが、仕上げ材 (色、材質など) は施主の予算と好みに応じて各室ごとに決められ、透湿性の不適切な (透湿抵抗の大き

過ぎる、あるいは小さ過ぎる) 材料が選択される可能性がある。たとえ、竣工当初は適切な材料が施工されたとしても、改装する場合に誤る可能性もある。また、施工の不確実性、製品の劣化を考えると、最適な透湿性を保つことは非常に困難と思われる。無仕上げの壁体では地域 E を除く全地域で冬季湿害の危険性があることから、現実的には第一に内装材側の防湿施工 (ポリエチレンフィルムや防湿塗装など) により冬季湿害を予防し、次に夏季湿害について地域ごとに対処すべきと考える。

### 3.2 吸放湿材の調湿作用による内部湿度への影響

夏季湿害は、昼間の温度上昇 (日射受熱) にともなう壁体材料 (構造用合板などの躯体外側材料) からの一時的な放湿 (夜間は吸湿する) と壁体内部 (空腔) における湿気の停滞に起因する。したがって、内装材の調湿作用 (昼間に吸湿し、夜間に放湿する) を利用すれば、内部湿度の上昇が抑制され (日較差が小さくなり)、夏季湿害を防止できる。ただし、調湿作用は内装材の湿気容量に依存するため、湿気容量の少ない材料 (石膏ボード) は、地域 C~E のように多湿な (材料からの放湿量が多い) 地域ではほとんど機能しない (3.1 節参照)。そこで、湿気容量の大きい吸放湿材を内装材に使用した壁体 D (防湿塗装仕上げ、無仕上げの 2 仕様) の湿害予防効果について検討する。図 3 に、吸放湿材「Desiccant Board」、合板、石膏ボードの平衡含水率 (湿気容量の違い) を示す。

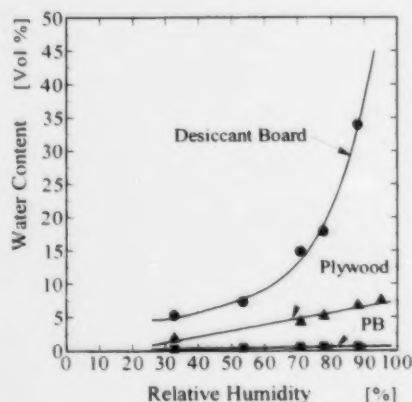


Fig.3 Equilibrium water content among Desiccant board, Plywood and Plaster board

表 3 に、夏季 (7~8 月) と冬季 (1~2 月) に、壁体 D の内部相対湿度 (繊維系断熱材の内・外境界部分) が 80%以上、90%以上になる時間の累積率 (湿害の危険率) を示す。壁体 D の夏季湿害

Table 3 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall D (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region	City	Wall B using Plaster Board with VB Primer				Wall D using Desiccant Board*							
						with VB Primer				No Finish			
		Summer		Winter		Summer		Winter		Summer		Winter	
		80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	19	4	62	0	0	0	0	77	29	1	0
		Asahikawa	1	0	94	42	0	0	0	92	68	0	0
		Sapporo	3	0	48	1	0	0	0	77	36	0	0
II	A	Akita	14	3	0	0	0	0	0	15	0	0	0
		Morioka	11	1	12	0	0	0	0	52	6	0	0
III	A	Sendai	26	7	0	0	2	0	0	25	3	2	0
		Niigata	17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Matsumoto	7	0	36	0	0	0	0	63	21	0	0
IV	B	Toyama	26	5	32	0	0	0	0	66	13	0	0
		Maebashi	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Tokyo	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	Nagoya	28	11	0	0	1	0	0	9	1	1	0
		Osaka	23	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0
		Hiroshima	36	11	0	0	7	0	0	0	1	0	0
	D	Fukuoka	33	12	0	0	1	0	0	0	2	0	0
		Kumamoto	30	11	0	0	2	0	0	5	0	0	0
V	D	Kagoshima	36	11	0	0	2	0	0	11	0	0	0
VI	E	Naha	54	23	0	0	60	0	0	0	5	0	0

\* moisture adsorption and desorption material

の危険率は、仕上げの有無に拘わらず全地域で著しく減少する。しかし、冬季湿害の危険率は、防湿塗装仕上げの場合は地域 A, B で、無仕上げの場合は地域 A~D で増加する。冬季は高温側（内装材側）温度が調湿の基準となり、水蒸気拡散により低温側（外気側）は却って高湿になるため、寒地では冬季湿害の危険性が増す。したがって、吸放湿内装材は蒸暑な地域 C~E に適する。ただし、地域 C, D は防湿塗装仕上げを必要とするのに対し、地域 E は必要ない（防湿塗装仕上げの夏季湿害の危険率は地域 E では依然として高い）。

### 3.3 発泡系材料を使用した外断熱による内部湿度への影響

夏季湿害の根本的な原因は、多湿な外気と温度上昇（日射受熱）に起因する壁体材料からの放湿である。したがって、壁体 E のように透湿抵抗の大きい発泡系材料で外断熱し、外気から壁体内部への湿流を削減する（曇雨天日の材料の吸湿量を低減する）と同時に、躯体の温度上昇を抑制すれば、材料からの放湿が緩和され夏季湿害を防止できる。

表 4 に、夏季（7~8 月）と冬季（1~2 月）に、壁体 E（防湿塗装仕上げ、無仕上げ）の内部相対湿度（繊維系断熱材の内・外境界部分）が 80% 以上、90% 以上になる時間の累積率（湿害の危険率）を示す。防湿塗装仕上げた壁体 E の内部湿度は、地域 E を除く全地域 A~D で通年に亘り低い。同じ防湿塗装仕上げた壁体 B と比較すると、壁体 E の湿害の危険率は遥かに小さい。冬季は外断熱により内部温度の低下が緩和されるため、地域 A, B でさえ内部相対湿度は 80% 以下に保たれる。ただし、無仕上げは全地域において冬季湿害の危険性が極めて高いため、壁体 E は防湿施工が必須となる。外装材側の透湿抵抗が大きい壁体 E は、冬季は室内からの湿気の侵入が致命的な湿害の原因となるため防湿と同様に気密施工も重要である（3.4 節参照）。しかし、適切な気密防湿施工の下では旭川（壁体 B は適用不可）でさえ低湿になる（特に冬季の外気相対湿度が高い地域で効果が著しい）。防湿塗装仕上げた壁体 E は全地域において壁体 B より湿害防止に優れ、仕様を変更することなく地域 A~D に適用できる。ただし、地域 E では、防湿塗装仕上げの場合は夏季に、無仕上

Table 4 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B with VB Primer				Wall E with External Insulation							
							with VB Primer				No Finish			
			Summer		Winter		Summer		Winter		Summer		Winter	
			80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	19	4	62	0	1	0	0	0	1	0	100	100
		Asahikawa	1	0	94	42	0	0	0	0	1	0	100	100
		Sapporo	3	0	48	1	0	0	0	0	1	0	100	100
II	A	Akita	14	3	0	0	3	0	0	0	5	0	100	100
		Morioka	11	1	12	0	1	0	0	0	3	0	100	100
III	A	Sendai	26	7	0	0	2	0	0	0	4	0	100	100
		Niigata	17	2	0	0	3	0	0	0	6	0	100	95
	A	Matsumoto	7	0	36	0	0	0	0	0	0	0	100	100
IV	B	Tovama	26	5	32	0	11	0	0	0	6	0	100	100
		Maebashi	21	6	0	0	0	0	0	0	7	0	100	80
	C	Tokyo	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0
		Nagoya	28	11	0	0	12	1	0	0	9	0	100	88
		Osaka	23	5	0	0	10	0	0	0	6	0	100	18
	D	Hiroshima	36	11	0	0	18	1	0	0	7	0	100	79
		Fukuoka	33	12	0	0	25	1	0	0	9	0	100	2
		Kumamoto	30	11	0	0	13	0	0	0	8	0	100	79
V	D	Kagoshima	36	11	0	0	22	0	0	0	8	0	100	48
VI	E	Naha	54	23	0	0	53	13	0	0	6	0	36	0

過ぎる、あるいは小さ過ぎる) 材料が選択される可能性がある。たとえ、竣工当初は適切な材料が施工されたとしても、改装する場合に誤る可能性もある。また、施工の不確実性、製品の劣化を考えると、最適な透湿性を保つことは非常に困難と思われる。無仕上げの壁体では地域 E を除く全地域で冬季湿害の危険性があることから、現実的には第一に内装材側の防湿施工 (ポリエチレンフィルムや防湿塗装など) により冬季湿害を予防し、次に夏季湿害について地域ごとに対処すべきと考える。

### 3.2 吸放湿材の調湿作用による内部湿度への影響

夏季湿害は、昼間の温度上昇 (日射受熱) にともなう壁体材料 (構造用合板などの躯体外側材料) からの一時的な放湿 (夜間は吸湿する) と壁体内部 (空間) における湿気の停滞に起因する。したがって、内装材の調湿作用 (昼間に吸湿し、夜間に放湿する) を利用すれば、内部湿度の上昇が抑制され (日較差が小さくなり)、夏季湿害を防止できる。ただし、調湿作用は内装材の湿気容量に依存するため、湿気容量の少ない材料 (石膏ボード) は、地域 C~E のように多湿な (材料からの放湿量が多い) 地域ではほとんど機能しない (3.1 節参照)。そこで、湿気容量の大きい吸放湿材を内装材に使用した壁体 D (防湿塗装仕上げ、無仕上げの 2 仕様) の湿害予防効果について検討する。図 3 に、吸放湿材「Desiccant Board」、合板、石膏ボードの平衡含水率 (湿気容量の違い) を示す。

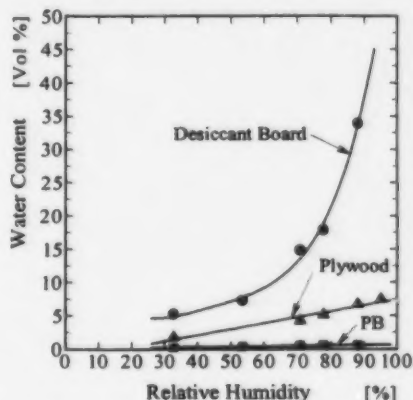


Fig.3 Equilibrium water content among Desiccant board, Plywood and Plaster board

表 3 に、夏季 (7~8 月) と冬季 (1~2 月) に、壁体 D の内部相対湿度 (繊維系断熱材の内・外境界部分) が 80%以上、90%以上になる時間の累積率 (湿害の危険率) を示す。壁体 D の夏季湿害

Table 3 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall D (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B using Plaster Board with VB Primer				Wall D using Desiccant Board*							
							with VB Primer				No Finish			
			Summer		Winter		Summer		Winter		Summer		Winter	
			80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	19	4	62	0	0	0	77	29	1	0	100	100
		Asahikawa	1	0	94	42	0	0	92	68	0	0	100	100
		Sapporo	3	0	48	1	0	0	77	36	0	0	100	100
II	A	Akita	14	3	0	0	0	0	15	0	0	0	100	77
		Morioka	11	1	12	0	0	0	52	6	0	0	100	100
III	A	Sendai	26	7	0	0	2	0	25	3	2	0	96	61
		Niigata	17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100	37
		Matsumoto	7	0	36	0	0	0	63	21	0	0	99	90
IV	B	Tovama	26	5	32	0	0	0	66	13	0	0	100	91
		Maebashi	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	72	3
		Tokyo	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
	C	Nagoya	28	11	0	0	1	0	9	1	1	0	84	44
		Osaka	23	5	0	0	0	0	1	0	0	0	73	5
		Hiroshima	36	11	0	0	7	0	0	0	1	0	88	24
	D	Fukuoka	33	12	0	0	1	0	0	0	2	0	47	2
		Kumamoto	30	11	0	0	2	0	5	0	0	0	92	28
V	D	Kagoshima	36	11	0	0	2	0	11	0	0	0	80	25
VI	E	Naha	54	23	0	0	60	0	0	0	5	0	10	0

\* moisture adsorption and desorption material



の危険率は、仕上げの有無に拘わらず全地域で著しく減少する。しかし、冬季湿害の危険率は、防湿塗装仕上げの場合は地域 A, B で、無仕上げの場合は地域 A~D で増加する。冬季は高温側（内装材側）湿度が調湿の基準となり、水蒸気拡散により低温側（外気側）は却って高湿になるため、寒地では冬季湿害の危険性が増す。したがって、吸放湿内装材は蒸暑な地域 C~E に適する。ただし、地域 C, D は防湿塗装仕上げを必要とするのに対し、地域 E は必要ない（防湿塗装仕上げの夏季湿害の危険率は地域 E では依然として高い）。

### 3.3 発泡系材料を使用した外断熱による内部湿度への影響

夏季湿害の根本的な原因は、多湿な外気と温度上昇（日射受熱）に起因する壁体材料からの放湿である。したがって、壁体 E のように透湿抵抗の大きい発泡系材料で外断熱し、外気から壁体内部への湿流を削減する（曇雨天日の材料の吸湿量を低減する）と同時に、躯体の温度上昇を抑制すれば、材料からの放湿が緩和され夏季湿害を防止できる。

表 4 に、夏季（7~8 月）と冬季（1~2 月）に、壁体 E（防湿塗装仕上げ、無仕上げ）の内部相対湿度（繊維系断熱材の内・外境界部分）が 80% 以上、90% 以上になる時間の累積率（湿害の危険率）を示す。防湿塗装仕上げた壁体 E の内部湿度は、地域 E を除く全地域 A~D で通年に亘り低い。同じ防湿塗装仕上げた壁体 B と比較すると、壁体 E の湿害の危険率は遥かに小さい。冬季は外断熱により内部温度の低下が緩和されるため、地域 A, B でさえ内部相対湿度は 80% 以下に保たれる。ただし、無仕上げは全地域において冬季湿害の危険性が極めて高いため、壁体 E は防湿施工が必須となる。外装材側の透湿抵抗が大きい壁体 E は、冬季は室内からの湿気の侵入が致命的な湿害の原因となるため防湿と同様に気密施工も重要である（3.4 節参照）。しかし、適切な気密防湿施工の下では旭川（壁体 B は適用不可）でさえ低湿になる（特に冬季の外気相対湿度が高い地域で効果が著しい）。防湿塗装仕上げた壁体 E は全地域において壁体 B より湿害防止に優れ、仕様を変更することなく地域 A~D に適用できる。ただし、地域 E では、防湿塗装仕上げの場合は夏季に、無仕上

Table 4 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B with VB Primer				Wall E with External Insulation							
							with VB Primer				No Finish			
			Summer		Winter		Summer		Winter		Summer		Winter	
			80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%	80%	90%
I	A	Nemuro	19	4	62	0	1	0	0	0	1	0	100	100
		Asahikawa	1	0	94	42	0	0	0	0	1	0	100	100
		Sapporo	3	0	48	1	0	0	0	0	1	0	100	100
II	A	Akita	14	3	0	0	3	0	0	0	5	0	100	100
		Morioka	11	1	12	0	1	0	0	0	3	0	100	100
III	A	Sendai	26	7	0	0	2	0	0	0	4	0	100	100
		Niigata	17	2	0	0	3	0	0	0	6	0	100	95
		Matsumoto	7	0	36	0	0	0	0	0	0	0	100	100
IV	B	Tovama	26	5	32	0	11	0	0	0	6	0	100	100
		Maebashi	21	6	0	0	0	0	0	0	7	0	100	80
	C	Tokyo	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0
		Nagoya	28	11	0	0	12	1	0	0	9	0	100	88
		Osaka	23	5	0	0	10	0	0	0	6	0	100	18
		Hiroshima	36	11	0	0	18	1	0	0	7	0	100	79
	D	Fukuoka	33	12	0	0	25	1	0	0	9	0	100	2
		Kumamoto	30	11	0	0	13	0	0	0	8	0	100	79
V	D	Kagoshima	36	11	0	0	22	0	0	0	8	0	100	48
VI	E	Naha	54	23	0	0	53	13	0	0	6	0	36	0



げの場合は冬季（結露の心配はないが、温暖気候のためカビや腐朽の可能性はある）にそれぞれ湿害の危険性があり使用できない。

### 3.4 漏気による内部湿度への影響

表5～7に、気密性（漏気）の違いが夏季（7～8月）と冬季（1～2月）に内部湿度（壁体B, D, Eの湿害の危険率）へ及ぼす影響を示す。漏気量は隙間面積と建物内外の圧力差から計算されるが、表中には目安として床単位面積当たりの隙間相当面積「NLA: Normalized Leakage Area」を示す。壁体の実際の隙間面積（窓、ドアを除く）は、実測結果を基にNLA  $1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ のとき建物全体の隙間面積の10%と仮定して壁単位面積当たり  $0.16 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ とする。

寒地では、漏気（隙間面積に依存する）による室内からの湿気の侵入が冬季湿害に直接影響する。壁体B, Eの冬季湿害の危険率（内部相対湿度が90%以上になる時間の累積率）は、隙間相当面積  $3 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  以下の場合にはほぼ0%であるが（ただし、壁体Bの旭川を除く）、隙間相当面積  $5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  の場合は地域Aで増大する。特に、透湿抵抗の大きい発泡系材料で外断熱した壁体Eは危険率が急増する。これに対して、壁体Dの冬季湿害の危険率は、吸放湿内装材が緩衝材として働くため壁体B, Eのような急激な変化はないが、隙間相当面積の増加に従い地域A, Bで大きくなる（ただし、壁体Dは隙間相当面積  $0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  の場合でも地域A, Bには適用不可）。

Table 5 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall B (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B with Poly Vapour Barrier									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	25	25	25	24	24	0	0	0	3	26
		Asahikawa	3	3	3	3	3	39	46	55	64	79
		Sapporo	6	6	6	6	6	0	0	2	6	21
II	A	Akita	18	18	18	18	17	0	0	0	0	0
		Morioka	16	16	16	16	16	0	0	0	0	1
III	A	Sendai	27	27	27	27	26	0	0	0	0	0
		Nigata	22	22	22	22	22	0	0	0	0	0
		Matsumoto	14	14	14	14	14	0	0	0	1	5
IV	B	Toyama	30	30	30	30	30	0	0	0	0	1
		Maebashi	25	25	25	25	25	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	18	17	17	16	16	0	0	0	0	0
		Nagoya	31	30	30	29	28	0	0	0	0	0
		Osaka	27	26	26	25	24	0	0	0	0	0
	D	Hiroshima	37	37	36	36	36	0	0	0	0	0
		Fukuoka	35	35	35	35	35	0	0	0	0	0
Kumamoto		32	32	32	32	32	0	0	0	0	0	
V	D	Kaeshima	37	37	37	37	37	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	37	39	38	38	37	0	0	0	0	0

Table 6 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall D (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall D with Vapour Barrier Primer									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	0	1	1	1	1	29	36	44	51	63
		Asahikawa	0	0	0	0	0	38	43	77	80	83
		Sapporo	0	0	0	0	0	36	39	46	51	62
II	A	Akita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		Morioka	0	0	0	0	0	6	8	11	15	23
III	A	Sendai	2	2	2	2	2	3	4	6	7	11
		Nigata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Matsumoto	0	0	0	0	0	21	25	28	33	42
IV	B	Tovama	0	0	0	0	0	13	17	21	24	31
		Maebashi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Nagoya	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
		Osaka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		D	Hiroshima	7	7	7	7	7	0	0	0	0
	Fukuoka		1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Kumamoto	2		2	1	1	1	0	0	0	0	0	
V	D	Kagoshima	2	2	3	3	3	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	60	60	48	43	34	0	0	0	0	0

漏気による夏季湿害の危険率  
(内部相対湿度が 80%以上になる時間の累積率) への影響は、冬季に比べ遥かに小さい。唯一、壁体 E の危険率は隙間相当面積の増加に従い大きくなるが、福岡と鹿児島を除けば湿害防止基準(前報<sup>1)</sup>表 2 参照)を満足している。壁体 B と比較すると両都市の危険率は小さく、また図 4 に示すように内部相対湿度 90%以上の累積率も非常に小さいことから、漏気による壁体内部湿度への影響はほぼ無視できる。なお、那覇の夏季湿害の危険率は、いずれの壁体も隙間相当面積の増加に従い小さくなる。つまり、地域 C~E は湿害予防に関する限り壁体の気密性は問題にならない。ただし、防水効果(雨水の浸透防止)を高めるため、通気層の内部圧力を外部風圧と同等に制御するレインスクリーンを利用する場合は気密性が重要になる。

#### 4. むすび

壁体の夏季と冬季の湿害の原因を明らかにし、通年に亘る現実的な湿害対策(①内装材側の防湿施工による冬季湿害予防、

②地域ごとの夏季湿害予防)を提案するとともに、以下に挙げる壁体の構成・仕様について地域区分 A~E への適用の可否を示した(前報<sup>1)</sup>および表 8 参照)。主な結果を以下に列記する。

- 壁体 B: 外装材/通気層/透湿シート/合板/繊維系断熱材/ポリエチレンフィルム/石膏板
- 壁体 B': 外装材/通気層/透湿シート/合板/繊維系断熱材/石膏板/防湿塗装仕上げ(VBP)
- 壁体 C: 外装材/通気層/透湿シート/合板/発泡系断熱材/ポリエチレンフィルム(あるいは VBP)/石膏板
- 壁体 D: 外装材/通気層/透湿シート/合板/繊維系断熱材/吸放湿材/防湿塗装仕上げ(VBP)
- 壁体 E: 外装材/通気層/透湿シート/発泡系断熱材(25mm)/合板/繊維系断熱材/石膏板/VBP

Table 7 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall E with Vapour Barrier Primer									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	1	3	4	6	8	0	0	0	0	56
		Asahikawa	0	0	0	0	1	0	0	0	3	75
		Sapporo	0	0	0	1	1	0	0	0	0	24
II	A	Akita	3	5	7	8	10	0	0	0	0	0
		Morioka	1	2	3	4	6	0	0	0	0	0
III	A	Sendai	2	4	5	6	9	0	0	0	0	0
		Nigata	3	7	10	11	14	0	0	0	0	0
		Matsumoto	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2
IV	B	Toyama	11	16	20	23	27	0	0	0	0	0
		Maebashi	0	1	3	6	9	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		Nagoya	12	15	17	18	19	0	0	0	0	0
		Osaka	10	12	13	14	14	0	0	0	0	0
		Hiroshima	18	20	21	22	22	0	0	0	0	0
	D	Fukuoka	25	29	31	33	35	0	0	0	0	0
		Kumamoto	13	15	17	19	21	0	0	0	0	0
V	D	Kaerohshima	22	25	27	29	30	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	53	51	47	43	39	0	0	0	0	0

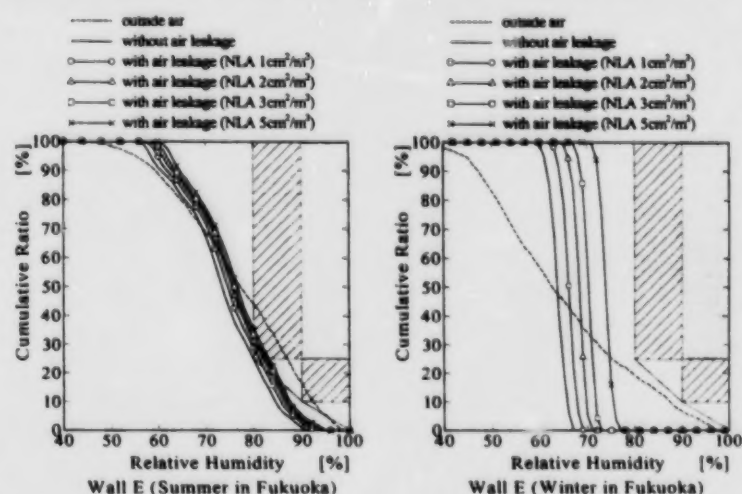


Fig.4 Cumulative ratio of time in high relative humidity range on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during July to August and January to February)

げの場合は冬季（結露の心配はないが、温暖気候のためカビや腐朽の可能性はある）にそれぞれ湿害の危険性があり使用できない。

### 3.4 漏気による内部湿度への影響

表5～7に、気密性（漏気）の違いが夏季（7～8月）と冬季（1～2月）に内部湿度（壁体B, D, Eの湿害の危険率）へ及ぼす影響を示す。漏気量は隙間面積と建物内外の圧力差から計算されるが、表中には目安として床単位面積当たりの隙間相当面積「NLA: Normalized Leakage Area」を示す。壁体の実際の隙間面積（窓、ドアを除く）は、実測結果を基にNLA  $1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ のとき建物全体の隙間面積の10%と仮定して壁単位面積当たり  $0.16 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  とする。

寒地では、漏気（隙間面積に依存する）による室内からの湿気の侵入が冬季湿害に直接影響する。壁体B, Eの冬季湿害の危険率（内部相対湿度が90%以上になる時間の累積率）は、隙間相当面積  $3 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  以下の場合にはほぼ0%であるが（ただし、壁体Bの旭川を除く）、隙間相当面積  $5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  の場合は地域Aで増大する。特に、透湿抵抗の大きい発泡系材料で外断熱した壁体Eは危険率が急増する。これに対して、壁体Dの冬季湿害の危険率は、吸放湿内装材が緩衝材として働くため壁体B, Eのような急激な変化はないが、隙間相当面積の増加に従い地域A, Bで大きくなる（ただし、壁体Dは隙間相当面積  $0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  の場合でも地域A, Bには適用不可）。

Table 5 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall B (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall B with Poly Vapour Barrier									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	25	25	25	24	24	0	0	0	3	26
		Asahikawa	3	3	3	3	3	39	46	55	64	79
		Sapporo	6	6	6	6	6	0	0	2	6	21
II	A	Akita	18	18	18	18	17	0	0	0	0	0
		Morioka	16	16	16	16	16	0	0	0	0	1
III	A	Sendai	27	27	27	27	26	0	0	0	0	0
		Nigata	22	22	22	22	22	0	0	0	0	0
		A	Matsumoto	14	14	14	14	14	0	0	0	1
IV	B	Toyama	30	30	30	30	30	0	0	0	0	1
		Maebashi	25	25	25	25	25	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	18	17	17	16	16	0	0	0	0	0
		Nagoya	31	30	30	29	28	0	0	0	0	0
		Osaka	27	26	26	25	24	0	0	0	0	0
		Hiroshima	37	37	36	36	36	0	0	0	0	0
	D	Fukuoka	35	35	35	35	35	0	0	0	0	0
		Kumamoto	32	32	32	31	30	0	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	37	37	37	36	35	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	52	50	48	46	42	0	0	0	0	0

Table 6 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall D (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall D with Vapour Barrier Primer									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	0	1	1	1	1	29	36	44	51	63
		Asahikawa	0	0	0	0	0	68	73	77	80	83
		Sapporo	0	0	0	0	0	36	39	46	51	62
II	A	Akita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		Morioka	0	0	0	0	0	6	8	11	15	23
III	A	Sendai	2	2	2	2	2	3	4	6	7	11
		Nigata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Matsumoto	0	0	0	0	0	21	25	28	33	42
IV	B	Toyama	0	0	0	0	0	13	17	21	24	31
		Maebashi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Nagoya	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
		Osaka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Hiroshima	7	7	7	7	7	0	0	0	0	0
	D	Fukuoka	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
		Kumamoto	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	2	2	3	3	3	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	60	60	48	43	34	0	0	0	0	0

漏気による夏季湿害の危険率  
(内部相対湿度が 80%以上になる時間の累積率) への影響は、冬季に比べ遥かに小さい。唯一、壁体 E の危険率は隙間相当面積の増加に従い大きくなるが、福岡と鹿児島を除けば湿害防止基準(前報<sup>1)</sup>表 2 参照)を満足している。壁体 B と比較すると両都市の危険率は小さく、また図 4 に示すように内部相対湿度 90%以上の累積率も非常に小さいことから、漏気による壁体内部湿度への影響はほぼ無視できる。なお、那覇の夏季湿害の危険率は、いずれの壁体も隙間相当面積の増加に従い小さくなる。つまり、地域 C~E は湿害予防に関する限り壁体の気密性は問題にならない。ただし、防水効果(雨水の浸透防止)を高めるため、通気層の内部圧力を外部風圧と同等に制御するレインスクリーンを利用する場合は気密性が重要になる。

#### 4. むすび

壁体の夏季と冬季の湿害の原因を明らかにし、通年に亘る現実的な湿害対策(①内装材側の防湿施工による冬季湿害予防、

②地域ごとの夏季湿害予防)を提案するとともに、以下に挙げる壁体の構成・仕様について地域区分 A~E への適用の可否を示した(前報<sup>1)</sup>および表 8 参照)。主な結果を以下に列記する。

- 壁体 B: 外装材/通気層/透湿シート/合板/繊維系断熱材/ポリエチレンフィルム/石膏板
- 壁体 B': 外装材/通気層/透湿シート/合板/繊維系断熱材/石膏板/防湿塗装仕上げ(VBP)
- 壁体 C: 外装材/通気層/透湿シート/合板/発泡系断熱材/ポリエチレンフィルム(あるいは VBP)/石膏板
- 壁体 D: 外装材/通気層/透湿シート/合板/繊維系断熱材/吸放湿材/防湿塗装仕上げ(VBP)
- 壁体 E: 外装材/通気層/透湿シート/発泡系断熱材(25mm)/合板/繊維系断熱材/石膏板/VBP

Table 7 Cumulative ratio of time in high relative humidity ranges above 80% or 90% on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during Jul. to Aug. and Jan. to Feb.)

Region		City	Wall E with Vapour Barrier Primer									
			Over 80% in Summer					Over 90% in Winter				
			Normalized Leakage Area					Normalized Leakage Area				
			0	1	2	3	5	0	1	2	3	5
I	A	Nemuro	1	3	4	6	8	0	0	0	0	56
		Asahikawa	0	0	0	0	1	0	0	0	3	75
		Sapporo	0	0	0	1	1	0	0	0	0	24
II	A	Akita	3	5	7	8	10	0	0	0	0	0
		Morioka	1	2	3	4	6	0	0	0	0	0
III	A	Sendai	2	4	5	6	9	0	0	0	0	0
		Nigata	3	7	10	11	14	0	0	0	0	0
	A	Matsumoto	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2
IV	B	Toyama	11	16	20	23	27	0	0	0	0	0
		Maebashi	0	1	3	6	9	0	0	0	0	0
	C	Tokyo	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		Nagoya	12	15	17	18	19	0	0	0	0	0
		Osaka	10	12	13	14	14	0	0	0	0	0
	D	Hiroshima	18	20	21	22	22	0	0	0	0	0
		Fukuoka	25	29	31	33	35	0	0	0	0	0
		Kumamoto	13	15	17	19	21	0	0	0	0	0
V	D	Kagoshima	22	25	27	29	29	0	0	0	0	0
VI	E	Naha	53	51	47	43	34	0	0	0	0	0

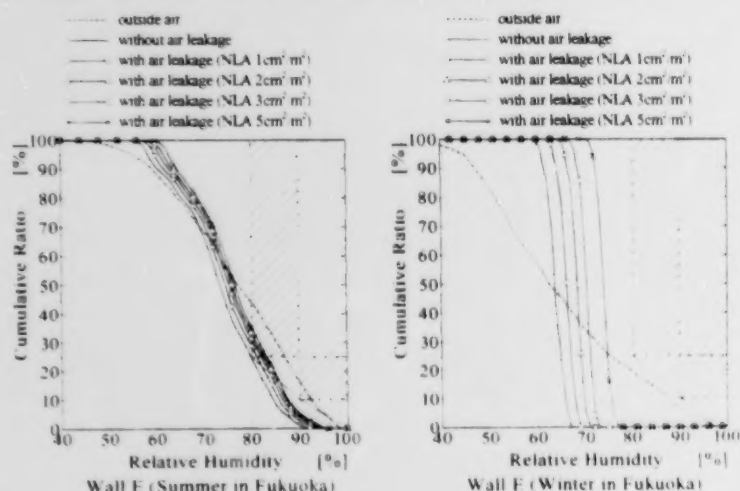


Fig.4 Cumulative ratio of time in high relative humidity range on inside or outside interface of batt insulation of Wall E (on the north during July to August and January to February)



1) 内装材裏面にポリ

リエチレンフィルム施工する壁体 B は、地域 A のみに適用できる。ただし、冬季に通気層からの排湿効果を期待できない例外地域 A' (旭川など) と、夏季の水分ポテンシャル (7~8 月

平均値) が 125kJ/kg 以上の地域 (仙台など地域 B に区分すべき例外地域) は除く。

- 2) 防湿塗装仕上げした壁体 B' は、内装材 (石膏ボード) の調湿作用 (湿気容量) により夏季の湿害緩和に貢献するものの、湿気容量が不十分のため湿害の危険率 (内部相対湿度が高湿になる時間の累積率) は壁体 B より僅かに低下する程度である。しかし、適用範囲は例外地域 A' を除く地域 A と地域 B に拡張される。なお、無仕上げとした壁体 B' は地域 E のみに適用できる。
- 3) 透湿抵抗の大きい発泡系断熱材を使用する壁体 C は、壁体内部の湿気拡散が抑制されるため、内部湿度は全地域で通年に亘り低く保たれる (前報<sup>1)</sup> 参照)。配線・配管施工などによる断熱欠損、隙間、漏気がなければ湿害の危険性はない。
- 4) 吸放湿内装材を使用する壁体 D は、防湿塗装仕上げの場合は地域 A~D で、無仕上げの場合は全地域で夏季湿害の危険性はない。しかし、冬季は内装材 (高温側) の調湿作用が逆効果となり、防湿塗装仕上げの場合は地域 A, B で、無仕上げの場合は地域 A~D で湿害が発生する。したがって、地域 C, D では防湿塗装仕上げが必須となるのに対し、地域 E には必要ない。
- 5) 透湿抵抗の大きい発泡系材料で外断熱する壁体 E は、外気から壁体内部への湿流を削減すると同時に、躯体の温度上昇を抑制するため、材料からの放湿を緩和し夏季湿害を防止する。また、冬季は外断熱により内部温度の低下が抑制されるため、内装材側が適切に気密防湿施工されていれば内部湿度は全地域で低湿に保たれる。壁体 E は配線・配管施工による断熱欠損などの問題が少なく、地域 A~D に適用できる。

Table 8 Regional propriety of envelope assembly

Envelope Assemblies		Regional Classification				
		A	B	C	D	E
Wall B with Poly VB	Propriety	△	×	×	×	×
	Interior Finish	All				
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	< 3				
Wall B' without Poly VB	Propriety	△	○	×	×	○
	Interior Finish	VBP	VBP			No Finish
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	< 3	< 5			All
Wall C	Propriety	○	○	○	○	○
	Interior Finish	PVB / VBP	PVB / VBP	PVB / VBP	PVB / VBP	All
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	< 3	< 5	< 5	< 5	All
Wall D without Poly VB	Propriety	×	×	○	○	○
	Interior Finish			VBP	VBP	No Finish
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]			< 5	< 5	All
Wall E without Poly VB	Propriety	○	○	○	□	×
	Interior Finish	VBP	VBP	VBP	VBP	
	NLA [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	< 3	< 5	< 5	< 5	

○: meet the moisture control guidelines

□: just a little over the moisture control guidelines in some parts of the region

△: does not meet the moisture control guidelines in some parts of the region

×: does not meet the moisture control guidelines

参考文献

- 1) 尾崎明仁, Kevin Lee: 湿害防止を目的とした壁体の断熱気密仕様—その 1 湿害防止のための地域区分, Proc. of 5th Canada/Japan Housing R&D Workshop, 1999



**Session 5／分科会 5**

**Building Envelope (Part 2)**

**建築外被（その 2）**



# **Crawl Spaces: How to avoid moisture and soil gas problems**

**Don Fuglar  
CMHC  
700 Montreal Road  
Ottawa ON K1A 0P7K**

## **Introduction:**

A crawl space is a type of shallow foundation, usually with the floor remaining at grade and with low headroom, typically one metre or less. Crawl spaces are not commonly used in new Canadian residential construction but can be found where there may be:

- a high water table,
- a shallow frost line, with shallow services (e.g city water lines are close to the surface),
- no need for deep excavation for adequate structural support,
- bedrock near the surface, making it difficult or impossible to dig a full basement, or
- particular municipal regulations that encourage crawl space construction over other foundation forms.

Crawl spaces are also a popular foundation choice for additions or extensions to existing houses, where there is no perceived need for additional basement space, with its attendant cost and disruption.

Many crawl spaces cause moisture problems in houses, despite the fact that vents are required by code with the intent of preventing moisture buildup. Typically, insulation and vapour barriers are not well-integrated with the rest of the house. Crawl spaces built over an exposed dirt floor often do not incorporate the ground cover, floor drains and perimeter drainage found in full basements.

Designers and builders need to consider crawl space moisture. Uncontrolled crawl space moisture can affect the whole house. Moisture can cause rot and mold growth in the crawl space lumber. Moisture can move into the living area and even the attic, contributing to high humidity levels and mold growth in those spaces.

The choice of heating and cooling systems can affect the movement of crawl space air to the rest of the house. With a forced air heating system, ducts in the crawl space usually link crawl space air to the rest of the house, as these ducts are not constructed airtight. Houses without attention to airtight construction will move crawl space air into the house no matter what type of heating system is used. However, in tightly-built houses without forced air systems, crawl space moisture may not affect the house interior as much, because there is less physical connection between the house and the crawl space.

Many problems found in crawl spaces are related to a misunderstanding of how crawl spaces work. Recent research has illustrated alternative crawl space construction techniques. Passive ventilation may often be unnecessary or ineffective. The purpose of this publication is to explain the latest understanding of crawl spaces, and how they should be built to avoid problems.

## **Classification of crawl spaces:**

There are two types of crawl spaces: conditioned and unconditioned. The National Building Code of Canada recognizes the difference through requirements for heated and unheated crawl spaces. Understanding the background of the two will make it easier to design for trouble-free construction.

Conditioned or heated crawl spaces are not separated from heated or conditioned portions of the house. The crawl space temperature may be different from the main house, but the space is connected to the house air. The crawl space should be treated as if it were a shallow basement. If ducts and plumbing runs are placed in the crawl space, they will probably not require special sealing and thermal insulation protection. The crawl space will be heated, cooled and ventilated as are interior basement spaces. The air barrier, vapour barrier and insulation details should be similar to standard above-grade and below-grade construction for the location. The crawl space floor should also incorporate a vapour barrier and floor drain.

Unconditioned or unheated crawl spaces, are separated from the heated or conditioned parts of a house. These crawl spaces are essentially exterior spaces, so floor construction above them must be treated as the bottom of the building envelope. The floor above should incorporate an air barrier, vapour barrier and insulation appropriate for the location. The unconditioned crawl space should be vented to the exterior, and house services through the crawl space should be avoided. Any ducts or other services that must be placed in the crawl space need to be carefully detailed to ensure that air and vapour barriers are maintained and adequate thermal insulation is provided. However, in general it is best to avoid putting ductwork in unconditioned crawl spaces. The code specifies a minimum amount of vent area required, but the optimum amount is dependent on local climatic conditions.

Although the unconditioned crawl space is isolated from the conditioned space of the house, it is still prudent to follow moisture control procedures. This will avoid undue moisture concentrations that could still create problems.

### **Building Science Principles**

Trouble-free construction requires an understanding of heat, moisture and air flows into and out of the crawl space.

**Moisture:** Bulk water (such as ground and rain water), water moved through capillary action; and water vapour can cause excess moisture in crawl spaces. Whether the crawl space is conditioned or unconditioned, bulk water entry (through flooding or leakage during snow melting) is usually highly visible and must be avoided. Capillary action causes liquid water to rise up thin tubes, such as the pores in concrete and other masonry materials. These enable ground water to rise through the material into the crawl space. Capillary action can be stopped by sealing the pores to prevent water entry, blocking the movement with dampproofing material, or making the pores large enough to avoid water entry. The effect of soil-based water vapour is not as well understood. The source may be ground water evaporating directly into the crawl space if there is no moisture-resistant ground cover, or water that moves by capillary action and evaporates into the space. A concrete groundcover without a moisture barrier may not be enough to control ground water migration, as water can wick up through the concrete by capillary action.

The second source of water vapour is ambient moisture from the air: moisture-laden, outside air entering the crawl space by ventilation. Warm air in summer can carry a large amount of moisture. Successful operation of a crawl space requires an understanding of the factors affecting water vapour.

**Soil Gases:** A variety of gases are present in the soil. Radon and methane are of the greatest concern. Radon is a colourless and odourless radioactive gas formed by the natural decay of radium. It is present in soil, rock and ground water in varying concentrations in many parts of the world. As radon normally enters the building from the surrounding soil, the concentration of gas is usually highest in the foundation area. A crawl space study in California found that as much as 50 per cent of the radon gas released into the crawl space will enter the living space. While the focus was on radon infiltration, the results are also valid for water vapour moisture entry and for other types of soil gases. Methane is the principal gas resulting from the decay of organic material in the soil. Houses would not normally be built on organic soils, but in some circumstances there may be significant organic content in the

soil or migration from nearby landfills. If the crawl space is conditioned, the main method of dealing with radon and other soil gases is by preventing gas entry. This is done by carefully sealing the house foundation from the soil. If the crawl space is unconditioned, a properly detailed first floor air barrier assembly will prevent excessive soil gas entry into the house.

**Heat/temperature flows:** During the coldest weather in cold climates, stack effects cause air to be drawn into the lower parts of the house, where the air replaces warm air exfiltrating through the upper portions of the house. In a heated crawl space, this will encourage crawl-space-to-house ventilation, and will usually encourage drying. However, stack effect-induced pressure differences can also draw in soil gases if the crawl space floor is not well sealed.

Radiation and leakage from duct work in a typical, insulated, forced-air heated house crawl space are often enough heat to keep the crawl space at 15°C, even at outside temperatures of -10°C. Both stack effects and pressures induced by duct leakage will affect the crawl space air.

**Crawl space vents:** Vents are often installed in crawl space walls to provide openings for passive ventilation. These vents are often louvered and screened. Some can be manually closed. Vents have, up until recently, been considered an effective defence against moisture buildup in crawl spaces and as a means of ensuring adequate drying during the non-heating season. The use of crawl space vents attempts to compensate for inadequate or ineffective drainage systems and moisture barriers. However, despite the use of these vents, crawl spaces often have high moisture levels that can result in high humidity and condensation in living areas. The presence of passive vents in crawl spaces does not guarantee ventilation. The vents are close to the ground where they are typically well-sheltered from winds. The vents are often inoperable because sunlight has distorted them, they have been installed poorly, or they are blocked by building material or vegetation. Crawl space vents do not work with conditioned crawl spaces, especially during the heating season. The vents (particularly those left open in the winter) can operate like warm air registers, moving warm air to the outside. They can be the single most important cause of air leakage and heat loss from houses. Recent research has suggested that such passive ventilation may be unnecessary or ineffective. Vents are not being installed and operated in a manner consistent with building codes, and even where vents have been used correctly, they are ineffective as a moisture control strategy. The outside air often contributes to the moisture load during the summer. On cool summer days and nights, the venting may actually increase condensation in crawl spaces. The section below describes alternatives to traditional crawl space construction techniques.

### **How to build a trouble-free crawl space:**

A checklist for things to consider at the design and construction stages

1. *Determine whether the crawl space is conditioned (heated).* The National Building Code of Canada considers a crawl space to be heated if the crawl space contains heating ducts that are not sealed and insulated; if the crawl space is not intentionally separated from the conditioned space of the house; or if it is used as a hot air plenum.

2. *Manage rain and ground water.* Surface and ground water must be managed no matter whether the space is conditioned or not. Follow the steps below to prevent problems with either crawl space type.

- Assess drainage requirements, especially where water tables are high.
- Grade backfill to create a slope away from the house so that rain runoff is diverted away from the foundation.
- Install adequately-sized perimeter drainage system.
- Consider providing clean-outs for foundation drainage systems to provide easy maintenance.

3. *Moisture management for conditioned crawl spaces.*

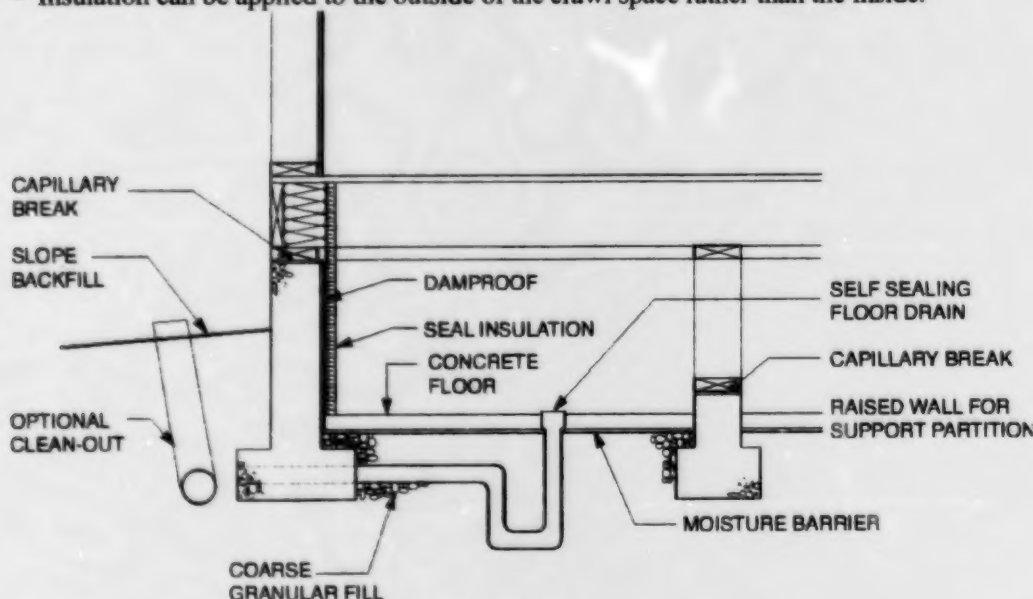


- Install a moisture barrier on the soil. If a concrete skim coat is being used, use a coarse granular fill under the slab to provide a capillary break, and then ensure a polyethylene, or equivalent, sheet is laid down prior to placing the concrete to provide a complete soil cover. Sealing the poly at the edge is not crucial, but it should be free of puncture holes.

- Dampproof the inside of crawl space foundation walls to reduce moisture migration into the space.
- Dampproof the top of foundation walls to prevent the rise of capillary water from unprotected footings.
- Raise interior support walls resting on a crawl space floor above the slab level. If such walls are supported on the crawl space floor, the sill plate can absorb high amounts of moisture. When the walls sit on a curb above the skim coat level, they are better protected and the problem disappears.
- Provide a floor drain for the crawl space floor area.

4. *Insulation for conditioned crawl spaces.* Treat the construction like a shallow, heated basement. Proper application of insulation materials to the interior wall surfaces of crawl spaces will reduce the moisture moved into the crawl space.

- Apply insulation evenly on the interior of wall surfaces and to the top of the foundation wall above grade. Make sure that no air can move behind the insulation as the resulting convection currents will render the insulation useless.
- Insulation can be applied to the outside of the crawl space rather than the inside.

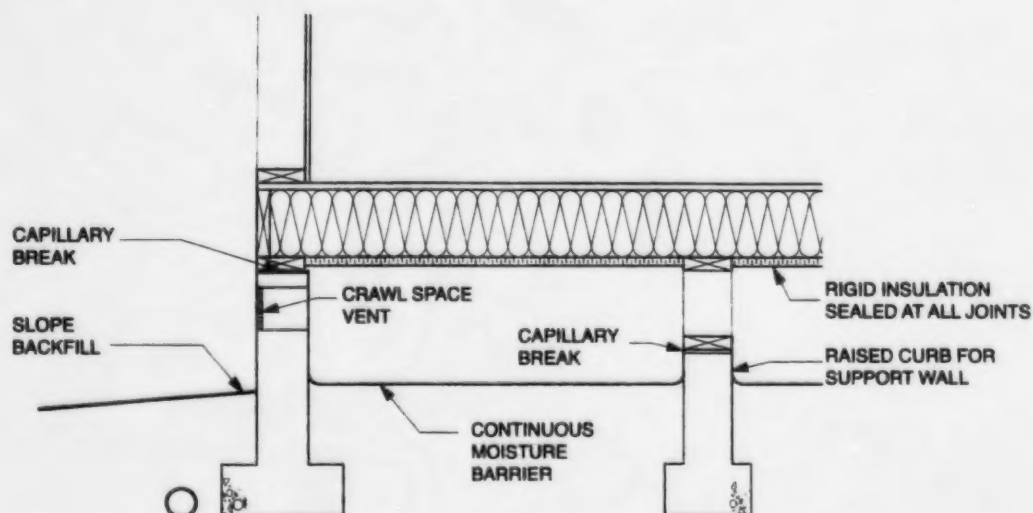


### Conditioned Crawl Space

5. *For unconditioned crawl spaces*

- The space should be well ventilated.
- The floor assembly above must be airtight with the appropriate insulation levels.

- Consider applying rigid impermeable insulation on the underside of the floor structure to protect the structure from wetting in summer. (Rigid insulation must be fire-rated if left exposed on the underside).
- Install a capillary break at the top of foundation walls, under the floor structure.
- Install a moisture barrier on the soil.



### Unconditioned Crawl Space

#### Insects

Insects are a concern in many areas, especially in mild humid climates. Warm, high humidity and moist conditions are usually ideal for insects. There is no universal method of dealing with insect problems, but addressing moisture issues will reduce them. Consider local practices for dealing with insects common in the area.

#### References

- ASHRAE. 1997. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, Georgia.
- CMHC. 1998. Crawl spaces: How to avoid moisture and soil gas problems. Published by Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Ontario
- CHBA. 1994. Canadian Home Builders' Association Builders Manual, Canadian Home Builders' Association, Ottawa, Ontario.
- The IBI Group Prairie. 1987. Moisture Problems: Crawl Space Investigations in Norway House Manitoba. Published by Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Ontario.
- Joseph Lstiburek. 1997. Builder's Guide: Mixed Climates. Building Science Corporation, Westford, Massachusetts.
- Joseph Lstiburek. 1997. Builder's Guide: Cold Climates. Building Science Corporation, Westford, Massachusetts.

- Nazaroff, W.W. and Doyle, S. M. 1985. Radon Entry into Houses Having a Crawl Space. Health Physics, Vol. 48, No. 3.
- S. Quarles. 1989. Factors Influencing the Moisture Conditions in Crawl Spaces. Forest Products Journal, Vol. 39, No.10.
- Sheltair Scientific Ltd. 1991. Investigation of Crawl Space Ventilation and Moisture Control Strategies for BC Houses. Published by Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Ontario.

## 床下空間：湿気および土壌ガスを防ぐ方法

Don Fuglar

CMHC

700 Montreal Road

Ottawa, ON., K1A P7K Canada

### 1. はじめに

床下空間とは、基礎が浅く、普通、地盤面のままで、天井は低く、1m またはそれ以下のものを指す。床下空間は最近のカナダの住宅では少なくなってきたが、以下に述べるような場所では見られる。

- 地下水面が高い。
- 地下凍結線が浅いため、ガス・水道・電気などの配管・配線が地表近くにある。
- 構造上の適切な支えを得るための深い掘削が不要。
- 地表近くに岩床があり、完全な地下室をつくるのが困難、または不可能。
- 自治体の特別の条例により、他の形の基礎より床下空間を作ることが奨励されている。

床下空間はまた、わざわざ地下室を作るほどではないが、家のスペースを広げるための増築工事をする場合に、僅かな費用でできるため、よく採られる方法である。

建築基準法により湿気を防ぐ目的で通気孔が必要とされているにもかかわらず、住宅の湿気にまつわる問題が多く、床下空間で発生している。特に断熱、防湿処理が家屋の他の部分との関係において、完全に行われていない場合に顕著である。むき出しの土壌上に建てられた床下空間は、しばしば地下室の場合に見られるような土壌の被覆、床排水、周辺排水設備などがなされていないことがある。

建築設計、施行において、床下空間の湿気に対する考慮が必要である。湿気の調節が行われていない床下空間は家全体に影響を及ぼす。湿気は床下空間の材木の腐朽やカビの発生を招く。湿気は生活空間、さらに屋根裏までも移動し、その部分も湿度は高くなり、カビが発生することになる。

床下空間から屋内の他の部分への空気の流れは、暖房、冷房システムの選択の影響を受ける。強制温風暖房システムを使うと、ダクトは気密性があるように作られていないので、普通、床下空間のダクトは床下空間の空気を家屋の他の部分の空気と混合させる。高气密性の配慮のない家屋では、暖房システムのタイプと関係なく、床下空間の空気は屋内に移動する。しかし、強制空気循環システムのない高气密住宅では、屋内と床下空間の物理的な接触が比較的少ないので、床下空間の湿気は屋内にそれほど影響しない。

床下空間にみられる数多くの問題は、床下空間の機能に関する誤解から生じている。最近の研究で、床下空間のいくつかの建築技法が発表されている。パッシブ換気は多くの場合、不要または効果がないとされている。この論文の目的は、床下空間に関する最新情報の理解と、問題を回避するための建築方法である。

## 2. 床下空間の分類

床下空間には、空調付きと空調なしの 2 つのタイプがある。カナダ全国建築基準法では、床下空間に暖房があるかどうかを基準にした要件を組み込むことにより、この区別を認識している。この 2 つの方式の背景を理解することにより、問題のない構造の設計を容易にすることができるであろう。

空調付き、つまり暖房つき床下空間は家屋の暖房／空調から分離されていない。床下空間の温度はその家屋本体の温度とは差があるかもしれないが、家屋の空気とつながっている。この場合、床下空間は天井の低い地下室として取り扱われるべきであろう。ダクトや配管が床下空間に配置されている場合、特別にシール、断熱保護する必要はない。床下空間は屋内地下室の空間と同様に暖房、冷房、換気がなされる。空気・湿気の遮断方法、断熱の細部については、該当地域の地上、地下建築の標準と同様であるべきである。床下空間の床には、また防水・防湿シート、床排水も組み込むべきである。

空調なし、つまり、暖房のない床下空間は家屋の暖房／空調から分離されている。このタイプの床下空間は本質的には屋外空間で、その上部の床構造を建物外被の底部として取り扱う。したがって、その床には該当地域に適切な空気・湿気遮断の手当て、断熱処理をしなければならない。空調のない床下空間では、換気は外部におこない、床下空間内のダクト、水道・ガス・電気などの配管・配線は避けなければならない。それをしなければならない場合は、慎重に詳細設定をおこない、空気、湿気の遮断が維持され、適切な断熱処理が施されていることを確認する。しかし、空調のない床下空間では、一般的にはダクト・配管は通さない方がよい。法規には、要換気面積の最小値が指定されているが、最適値は気候条件によって異なる。

空調のない床下空間は家屋の空調のある部分から隔離されているが、それでも同様の湿気の調節手順に従うことが望ましい。これにより、問題の発生する可能性の残っている過度の結露を防ぐことができる。

## 3. 建築科学の原理

問題発生のない建築には、床下空間に出入する熱、湿気、空気の流れについての理解が必要である。

湿気： 大量の水（地下水、雨水など）、毛管作用により生ずる水、水蒸気などが床下空間における過剰な湿気の原因をつくる。空調の有無にかかわらず、大量の水の侵入（洪水や雪解け時）は普通かなり目につき、これは回避しなければならない。水は、毛管作用により、コンクリートや石材の細孔のような細い管の中を上昇する。その結果、地下水が床下空間まで侵入してくる。細孔をシールしたり、湿気防止材を動かないように固定したり、細孔を大きくしたりして、毛管作用は止めることができる。土壌からの水蒸気の影響についてもあまりよく知られていない。水蒸気の発生源は防湿グランドカバーが使用されていない場合、直接床下空間に蒸発してくる地下水であったり、または毛管作用により侵入してきた水の蒸発であったりする。防湿処理なしのコンクリートは、毛管作用によりコンクリートの内を水が吸上げられるため、地下水の移動を制御するには十分でない。



水蒸気の第2の発生源は換気により床下空間に侵入してくる湿気を含んだ外気である。夏の暑い空気は大量の湿気を運ぶ。床下空間をうまく機能させるには水蒸気に影響する要因についての理解が必要である。

**土壌ガス：**土壌には様々なガスが存在している。問題となるのはラドンとメタンである。ラドンはラジウムの自然崩壊により発生する無色無臭の放射性ガスである。これは土壌、岩石、地下水内に、世界各地に異なった濃度で存在している。ラドンは一般的には回りの土壌から建物内に入り込むので、ガスの濃度は土台のところで最高値を示す。カリフォルニア州での床下空間の調査によれば、床下空間に放出されるラドン・ガスのうち50%もが、生活空間に入りこむことが明らかにされた。調査の焦点はラドンの侵入に当てられていたが、水蒸気、その他の土壌ガスについても、結果は同様である。メタンは土壌内の有機物質の腐敗により発生する主なガスである。家屋は普通、有機土壌の上には建てないが、環境によっては、土壌中の有機物質含有量がかなりのものになる場合、また付近の埋め立て、ごみ処理などの影響を受けている場合などもある。床下空間に空調がある場合、ラドンその他のガスを取り扱う主な方法は、ガスの侵入を防ぐことである。これは家屋の基礎を土壌から注意深くシールすることにより解決する。床下空間に空調がない場合には一階の空気遮断方法を適切に詳細設定することにより、余分なガスが屋内に侵入することを防ぐ。

**熱および温度の流れ：**寒冷地域の厳寒の天候の間、煙突効果により、入ってくる空気は家屋の下の方に流れ、そこで暖かい空気と置き換わり、暖かい空気は家屋の上の方へ逃げていく。暖房のある床下空間では、この現象により、床下空間から家屋への換気が促進されるようになり、同時に乾燥も促進される。ところが、床下空間の床がよくシールされていないと、煙突効果により生じた圧力差により、土壌内のガスも引き込むことになる。

標準的に断熱された強制温風暖房住宅の床下空間のダクト配管からの熱の放射、漏れは、屋外の温度が $-10^{\circ}\text{C}$ であっても、床下空間を $15^{\circ}\text{C}$ に保つに十分な熱である。煙突効果、ダクトの漏れによって生ずる圧力のいずれも床下空間の空気に影響する。

**床下空間の通気口：**パッシブ換気のための開口部として、通気口が床下空間の壁に取り付けられる。この通気口にはしばしばよろい張りや、スクリーンが施されており、手動で開閉できるようになっている。最近まで通気口は床下空間に溜まる湿気の防御策として、また、暖房を必要としない季節には、適切な乾燥手段として考えられてきた。床下空間通気口は、不適切で、効率の悪い排水システムや湿気遮断法を埋め合せしようとする試みでもあった。しかし、この通気口の使用にもかかわらず、床下空間は湿度が高く、生活空間の湿度を上げ、結露を招いている。床下空間に通気口があるからといって、換気が保証されるものではない。通気口は地面に近く、風が遮られていることがよくある。通気口が、日光で歪んでいたり、取り付けが貧弱であったり、建材や草木に遮られて、機能していないことがしばしばある。空調つき床下空間では、通気口は、特に暖房が使用されている期間には使用されない。通気口（特に冬場に開けたままになっているもの）は、暖かい空気を屋外に排出するエア・レジスターのように動作することになる。通気口が、家屋から暖かい空気を排出し、熱を損失する最も重要な要因になってしまう。最近の調査では、このようなパッシブ換気は不要であり、効果はないとしている。通気口は建築基準法に準拠した方法で取り付けや運転がなされていない場合は勿

論、通気口が正しく使用されていても、湿気のコントロール対策として効率的ではない。夏場では、屋外空気が湿気取り入れの一因となっている。涼しい夏の昼夜を問わず、換気が床下空間の結露の原因になってしまうこともある。次の章では、これまでの床下空間の建築技術にかわるものについて述べる。

#### 4. トラブルのない床下空間の建築方法

設計および施工段階で考慮すべき事項のチェックリスト：

##### 4.1 床下空間に空調（暖房）を設備するか

カナダ全国建築基準法では、床下空間にシールや断熱が施されていないダクトがある場合、床下空間が家屋の空調のある空間と分離されていない場合、あるいは床下空間が暖かい空気のブリナムとして使用されている場合、床下空間は暖房されるべきとされている。

##### 4.2 雨水と地下水の管理

空調の有無にかかわらず、地表の水、地下水は管理しなければならない。下記の手順にしたがって、全てのタイプの床下空間に生ずる問題を防ぐ。特に地下水位の高いところでは、排水設備の要件を査定する。

- ・ 埋め戻しに傾斜をつけて家屋からのスロープを作り雨の表面流去が基礎から外れるようにする。
- ・ 適切な規模の周辺排水設備システムを取り付ける。
- ・ 基礎排水設備システム用の掃除口を設け、メンテナンスを容易にする。

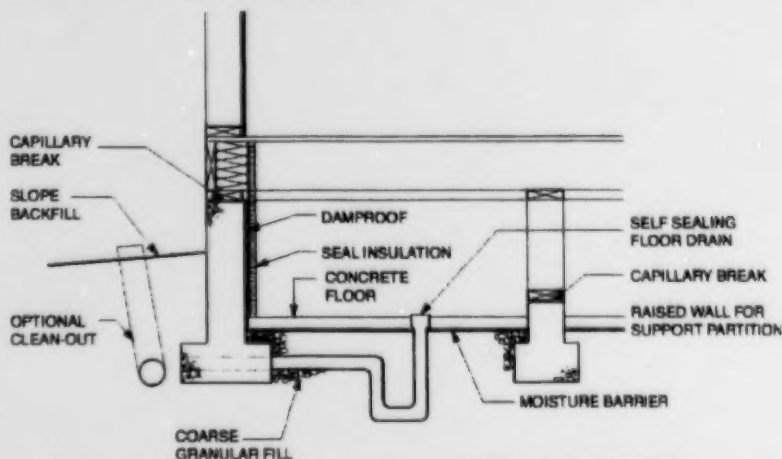
##### 4.3 空調のある床下空間の湿気の管理

- ・ 土壌の上に防湿材を敷く。コンクリートの表面に被覆処理が施されている場合は、スラブの下に粗い充填材を入れて毛管作用をふせぐ。土壌をコンクリートで固める前に、ポリエチレン、または同等のシートを敷く。ポリエチレンのシールが隅の方でされているかどうかは、たいして重要ではないが、しかし貫通した穴のないようにしなければならない。
- ・ 床下空間の基礎壁の内側に防湿処理を施し、床下空間への湿気の移動を低減させる。
- ・ 基礎壁の上部に防湿処理を施し、保護されていないフーティングからの毛管作用による水の上昇を防ぐ。
- ・ 床下空間のスラブレベルより上にある内壁の支持壁が床下空間の床で支えられていると、土台下枠が大量の湿気を吸収することがある。壁が被膜処理された床下の壁受けの上であれば、うまく保護され問題は解消する。
- ・ 床下空間の床に床排水を設ける

#### 4.4 空調のある床下空間の断熱

暖房付きの天井の低い地下室として扱う。床下空間の内側の壁に断熱材を適切に施すことにより、床下空間への湿気の移動が低減される。

- 壁表面の内側、および地盤上の基礎壁の上部まで、断熱処理を均一にすること。断熱材の裏に空気の移動がないように気をつけること。これがあると対流が発生して、断熱効果がなくなる。
- 断熱処理は床下空間の内側だけでなく外側に施すこともできる。

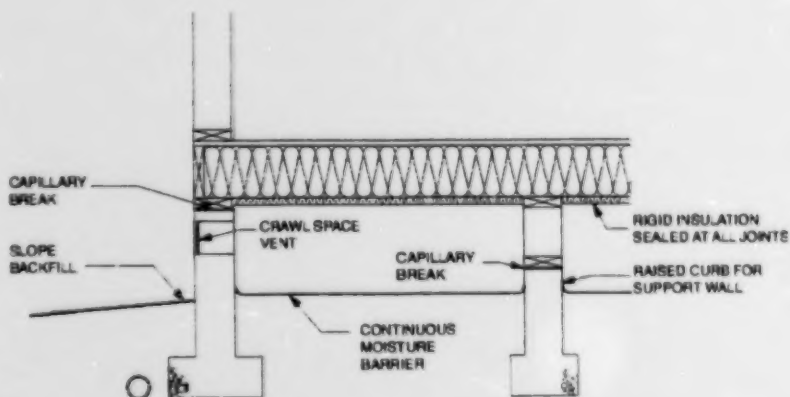


空調のある床下空間

- EXTERIOR VENTILATION NOT REQUIRED
- SPACE IS CONDITIONED BY HOUSE HEATING AND VENTILATING SYSTEMS
- INSULATION OF WALLS CAN BE OUTSIDE OR INSIDE

#### 4.5 空調のない床下空間

- 床下空間はよく換気をおこなうべき。
- 上部の床組みは気密性を保ち、適切な断熱レベルとする。
- 床構造の下に硬い不浸透性の断熱材を施し、夏場に床が湿るのを防ぐ。  
(硬い断熱材は下側を露出したままにする場合、難燃性の物を使う)
- 床構造の下、基礎壁の上部に毛管作用の対策を施す。
- 土壌の上に防湿処理を施す。



空調のない床下空間

## 5. 虫

虫は、多くの地域、とくに温暖多湿の気候の場合は問題になる。普通、温暖、多湿、水分は虫にとって、理想的な環境である。虫対策のための万能な方法はないが、湿気の問題に取り組むことにより、多少なりとも低減できると考えられる。また、その地域で普通に見られる虫に対処するには、現地の慣習も考慮に入れると良い。

## 参考文献

- ASHRAE. 1997. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, Georgia. 「基礎ハンドブック」
- CMHC. 1998. Crawl spaces: How to avoid moisture and soil gas problems. Published by Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Ontario 「カナダ住宅金融公社出版物、床下空間の湿気、土壌ガス処理法」
- CHBA. 1994. Canadian Home Builders' Association Builders Manual, Canadian Home Builders' Association, Ottawa, Ontario. 「カナダ建築家協会建築マニュアル」
- The IBI Group Prairie. 1987. Moisture Problems: Crawl Space Investigations in Norway House Manitoba. Published by Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Ontario. 「カナダ住宅金融公社出版物、湿気の問題：ノルウエー・ハウス・マニトバの床下空間調査」
- Joseph Lstiburek. 1997. Builder's Guide: Mixed Climates. Building Science Corporation, Westford, Massachusetts. 「建築ガイド：入り交じった気候」
- Joseph Lstiburek. 1997. Builder's Guide: Cold Climates. Building Science Corporation, Westford, Massachusetts. 「建築ガイド：寒冷気候」
- Nazaroff, W.W. and Doyle, S. M. 1985. Radon Entry into Houses Having a Crawl Space. Health Physics, Vol. 48, No. 3. 「床下空間のある家屋へのラドンの侵入」
- S. Quarles. 1989. Factors Influencing the Moisture Conditions in Crawl Spaces. Forest Products Journal, Vol. 39, No.10. 「床下空間での湿気の状態に影響する要素」
- Sheltair Scientific Ltd. 1991. Investigation of Crawl Space Ventilation and Moisture Control Strategies for BC Houses. Published by Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Ontario. 「BCハウス用床下空間換気の調査および湿気管理法」

# **Comprehensive Research of Vertical edge insulation method on foundation walls in detached houses in moderate climate region**

Hirota Suzuki\*, Yoshinori Honma\*, Yuzo Sakamoto\*\*,  
Akihiro Nagata\*\*\* and Atsushi Iwamae\*\*\*\*

\*Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute  
3-36, 4-1, 24ken, Nishi-ku, Sapporo, 063-0804, JAPAN

\*\*Department of Architecture, Graduate school of Engineering, Tokyo University  
7-3-1, Hongo, Bunkyo-Ku, Tokyo, 113-8656, JAPAN

\*\*\*Department of Architecture, Graduate school of Engineering, Tokyo Metropolitan University.  
1-1, Minami-Ohsawa, Hachioji-shi, Tokyo, 192-0397, JAPAN

\*\*\*\*Sekisui House co. Ltd.

Kabutodai, 6-6-1, Kizu-cho, Sagara-gun, Kyoto, 619-0224, JAPAN

## **1. Introduction**

Crawl space of Japanese conventional wooden house was originally opened to outdoor air to prevent moisture problem, especially in summer of the humid climate region. There also exists the house type that open to indoor air and be shut to outdoor air, this supposed to keep the floor surface temperature rather moderate in winter. Nowadays, there are two types of insulating method for the bottom part of the detached house, such as under floor insulation and vertical edge insulation on foundation wall, both insulation techniques are applied for the energy conservation and also improving thermal comfort. The difference of these insulation measures is how the crawl space treated in the hygrothermal point of view, it is reminded of the traditional measures as stated above.

Vertical edge insulation on foundation wall of suspended floor has been widely spread in Hokkaido since 10 years, and several ten-thousand of houses with vertical edge insulation on foundation wall have already built in Hokkaido. The advantage of this method for the cold region, is as follows;

- 1) Prevention high moisture condition in the crawl space
- 2) Improving durability of the floor construction
- 3) Rationalization of thermal insulation and air tightness of the detached house
- 4) Making use of thermal capacity of the ground for the wooden house
- 5) Maintenance of the pipes or ducts

Research committee for "Adoption the vertical edge insulation method for moderate climate region in Japan" is organized at the Institute for Building Energy Conservation (IBEC) from 1997 to 1999. This report is the summary of the research results of this committee.

## **2. The Scope of the Study**

The clarified application of vertical edge insulation method for cold region, is stated bellows:

- a) It needs to keep the room temperature not to make temperature difference in the crawl space
- b) High thermal performance and high air tightness of the building envelope
- c) Vapor barrier that covering to prevent moisture from the ground or water accumulation

The things to be clarified for adoption of vertical edge insulation method to humid and moderate climate are as follows:

- 1) Temperature distribution in the crawl space when it is partial heating at the residential space



- 2) Hygrothermal condition in the crawl space in rain season
- 3) Simulation analysis of hygrothermal behavior in the crawl space adopted for several climate condition
- 4) Dealing with the termite problem

### **3. Results from Measurement and Simulation**

Temperature and relative humidity of 30 houses with vertical edge insulation (VFI is the shortened form in the following), that located 8 area of Japan, are measured for over 2 successive years from 1997. 4 houses without vertical edge insulation (non-VFI) are also measured for comparison. Measured point are south and north zone in the crawl space, 1F residential room above the measured point in the crawl space, surface temperature on the interior foundation wall and slab, and outdoor air.

#### **3-1. Measured Hygrothermal Condition in the Crawl Space under Partial heating in winter**

The temperature differences in the crawl space (X-axis) and in the 1F residential room (Y-axis) of typical VFI in January are plotted in figure 2(a), (b). Non-VFI type, most of all data is plotted in the first quadrant. On the other hand, VFI type's data is plotted around near Y-axis, it means there is almost even temperature (maximum  $\pm 2$  degree C.) in the crawl space, in spite of the uneven temperature of the 1F residential room. It is also shown in figure 3 that VFI keeps 15 to 20 degrees C. in average from December to March, almost no correlation to outdoor condition or location. Figure 4 shows that accumulated frequency distribution of Relative humidity in the crawl space of both types. Maximum relative humidity of VFI is around 60%RH, while 10% of the data are over 80%RH in the non-VFI type.

The water from drying concrete are extremely influenced on hygrothermal condition in the crawl space, especially in the term of the less than 1 year from completion.

Figure 5 shows that the average absolute humidity of each spaces and the average relative humidity in the crawl space of each houses in January, in order of completion age from the left.

In VFI type, the younger the completion ages spend, the higher the absolute humidity in the crawl space, compare to the outdoor air. Whereas, the non-VFI type, there is almost no absolute humidity difference between in the crawl space and that of the outdoor air.

#### **3-2. Measured Hygrothermal Condition in the Crawl Space in rain season**

Figure 6 shows that the temperature difference in the crawl space (X-axis) and the same in the 1F residential room (Y-axis) of both types in rain season. The data of VFI are plotted around the center point, it means very small temperature difference inside the house.

The thermal performance of the envelope supposes to bring about the difference of two types of house.

Figure 7 shows the relation between average temperature and the average diurnal range of VFI measured in rain season. They are plotted in order to recognize the completion age and location. The average diurnal range of VFI type is around  $\pm 0.5$  deg. C. and varied rather stable compare to non-VFI, at least more than daily periodic cycle.

The average absolute humidity of each measured zone and also the relative humidity of rain season are shown in Figure 8. The absolute humidity in the crawl space of young aged VFI type is highest of all measured point, because moisture from the concrete slab and also outdoor high humidity makes desorption moisture from the crawl space difficult.

The VFI type those pass over 1-year completion shows the absolute humidity in the crawl space

become as the same level as the outdoor air.

Relative humidity of VFI type (over 1-year past from completion) indicates less than 80%RH in rain season. On the non-VFI type, relative humidity in the crawl space is extremely high (over 90%RH) in spite of as same absolute humidity in the crawl space as the outdoor. The low heat flow rates into the crawl space become the temperature low.

The period of suspect condensation on the slab in contact with ground is from late of May to July, because of phase lag of annual temperature variation of the ground.

Figure 9 shows accumulated frequency distribution of the temperature difference between dew point temperature and the slab surface temperature in the late of June and the Early in July.

There is no temperature difference in non-VFI type, about the half period of measurement. Whereas there is almost no possibilities in forming condensation on the slab surface except the VFI type (less than 1 year from completion).

Results of the measured data analysis is that the VFI type has the priority in keeping temperature in the crawl space high enough, in spite of rather high absolute humidity condition. Nevertheless, non-VFI type, that aim to keep close to the air void condition of suspended floor to outdoor condition, have difficulty in keeping temperature high enough, because of high thermal performance of the floor insulation.

### **3-3. Simulation analysis on hygrothermal condition subject to chief cities in Japan**

3-dimentional heat and moisture transfer code in hygroscopic area is developed and executed subject to chief cities in Japan to predict the hygrothermal condition in the crawl space of VFI.

Material properties and the calculation model are shown in Table 2, and the construction and the ventilation rate from external air or from 1F residential room, are also noted in Table 3.

The simulation results processed in accumulated frequency distribution of over 80%RH, that is the boundary propagation of mold. Figure 11 shows that Sendai and Kagoshima tends to high moisture condition. Outdoor condition is governing in forming high humid condition in the crawl space of both cities, thermal performance has little influence on hygrothermal condition in the crawl space.

Figure 12 shows the influence of ventilation rates among each space. From the calculation results, ventilation rate has little effect in forming high moisture condition, compare to outdoor conditions.

As a result, specification on thermal performance of vertical edge insulation should be decided from heat load of the house, not from condensation proofing in the crawl space (specification on thermal performance are stipulated from heat load in the "new energy code for residential house 1999").

### **3-4. Termite problem**

Termite damage may short the lifetime of wood construction. There are two kinds of termite inhabiting mostly in southern part. It is known that the damage by Yamato-termite can manage by water content control of wood, while Ie-termite brings water to wood itself that cannot manage by moisture control.

The measure to anti-formation of termite trail, and selection of naturally durable wood or preservative-treated wood are required at present.

From the laboratory experiment, It is clarified that plastic form thermal insulation can easily become the termite trail. Nevertheless, insulated foundation design for termite protection is not developed yet.

Experimental house shown in Figure 13 is built in south of Kyushu area, to develop the simplified method for termite protection without chemical treatment, that influence on IAQ.

There are 6 types of insulation-placed models, and experiment from 1998 to 1999 in the field, still undergoing. It might be the first case to experiment on the termite damage using full size test house in the nature. It is not observed the inversion into the crawl space from the termite trail inside the plastic form insulation on vertical edge of foundation so far, as an intermediary result.

#### **4. Conclusions**

For adoption of vertical edge insulation method to humid and moderate climate, temperature distribution in the crawl space when partial heating is not so large that hygrothermal condition in the crawl space cause no problem such as mold though year, except first year from completion.

It is also clarified that thermal performance of vertical edge insulation can be defined by the heat load, not by condensation proofing, from simulation analysis.

Housing Loan Corporation of Japan makes technical regulations from the committee results for adoption the vertical edge insulation method to all over Japan, and start financing from October in 1998.

Equivalent leakage area of platform floor is around from 2 to 3 cm<sup>2</sup> per floor area, which is not including the air gaps of partition wall. This value is covered almost all measurement houses and also simulation model. While, ordinary conventional wooden house has air gaps of partition wall (equivalent leakage area of 45mm × 45 mm floor joist is 160cm<sup>2</sup> per 455mm wide obtained from measurement), so the influence of accelerate ventilation rate by air gap of partition wall to the hygrothermal condition in the crawl space, and also floor construction design not using chemical treatment for preservation, are the things to be studied.

#### **References**

- [1] Yuzo Sakamoto, Hirotaka Suzuki, Yoshinori Honma, Akihiro Nagata, Atsushi Iwamae: Comprehensive Research of insulation on foundation wall for detached house, part 1 to 12, annual meeting of Architectural Institute of Japan, proceeding, 1998, 1999
- [2] Yoshinori Honma, Hirotaka Suzuki, Yuzo Sakamoto, Akihiro Nagata, Atsushi Iwamae: The characteristics of hygrothermal behavior in the crawl space in winter, Study on vertical edge insulation method for the moderate and humid climate region, part 1, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering, AIJ, No.525 1999.11
- [3] Atsushi Iwamae, Mamoru Matsumoto, Tomoya Chikada, Takayuki Matsushita, Osamu Matsumura: A study on Hygrothermal Variation in Crawl Space Vapor Proofed at the Ground Surface, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering, AIJ
- [4] Kentaro Suzuki, Katsuhiko Hagio: The Selective test of several building materials by le-termite damage, 48<sup>th</sup> Annual meeting of The Japan wood Research Society, proceeding, 1998.4



Photo 1 Open to external air of conventional wooden house

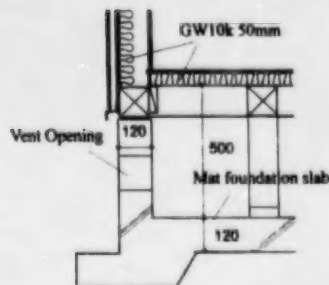


Figure 1(a) Floor Insulation Method



Photo 2 Close to external air of conventional wooden house

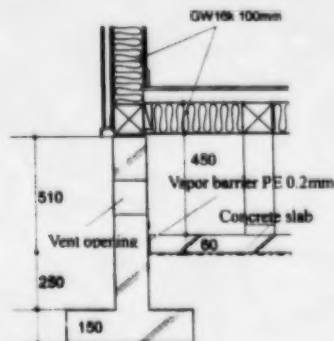


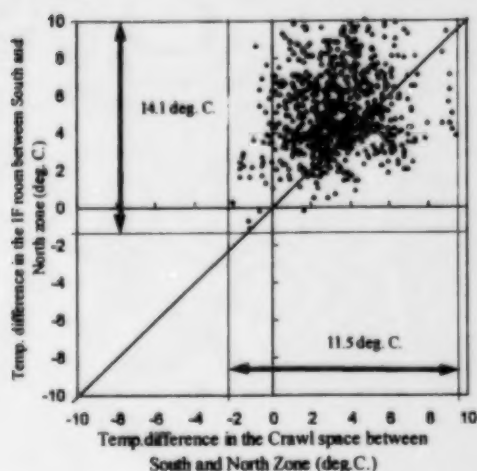
Figure 1(b) Vertical Edge Insulation Method

Table 1 Outline of measurement houses (not all measurement house included)

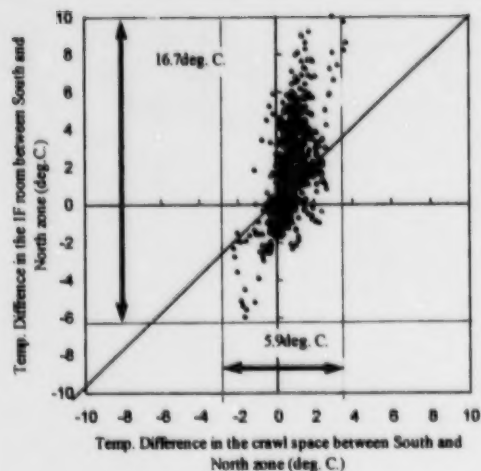
symbol	HOKU-2	HOKU-3	NK-1	TOHOKU-1	KYU-1	KYU-2
Insulation category	Vertical edge insulation (VFI)					
Passage year	Less than 1 year from completion					
Area location	Hokuriku		Kita-Kanto	Tohoku	Kyushu	
Insulation	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside XPS-b-1 30mm	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside XPS-B-3b 30mm
ceiling	PUF89mm	PUF89mm	GW 16k 200mm	PUF89mm	PUF89mm	PUF89mm
wall	PUF70mm	PUF70mm	GW 16k 100mm	PUF70mm	PUF70mm	PUF70mm
1/Floor area (m <sup>2</sup> )	156.4	86.1	163.8	132.5	57.9	57.1
Heating	Air conditioning	Air conditioning	FF heater	Air conditioning	Air conditioning	Air conditioning
ventilation	Exhaust central	Exhaust central	Exhaust central	Exhaust central	Exhaust central	Exhaust central
Vapor barrier	concrete	concrete	concrete	concrete	concrete	concrete
Height of crawl space (mm)	300	300	400	330	310	425
Completion	1997.7	1997.7	1997.4	1997.7	1996.10	1996.6

symbol	KYU-4	KAN-1	NK-3	NK-3	KYU-5	KYU-7
Insulation category	Vertical edge insulation (VFI)					Non-VFI
Passage year	Over 1 year and less than 2 years					Over 2 years
Area location	Kyushu		Kita-Kanto		Kyushu	Kyushu
Insulation	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside PUF 30mm	Outside PUF 30mm	Outside XPS-B-3b 75mm	-
ceiling	GW 16k 100mm	PUF89mm	PUF50mm	PUF70mm	GW 16k 100mm	GW 16k 50mm
wall	GW 16k 100mm	PUF70mm	PUF30mm	PUF40mm	GW 16k 100mm	GW 16k 50mm
1/Floor area (m <sup>2</sup> )	149.6	88.6	61.5	147.5	219.2	66.0
Heating	Hot water panel	Air conditioning	Hot water panel	FF heater	Hot water panel	Kotatsu
ventilation	Exhaust central	Exhaust central	Exhaust central	Exhaust central	Partly exhaust	Partly exhaust
Vapor barrier	PEO.2 + concrete	concrete	PEO.2 + concrete	PEO.2 + concrete	PEO.2 + concrete	-
Height of crawl space (mm)	800	380	450	450	105	450
Completion	1996.8	1996.11	1996.5	1996.5	1995.3	1992.4

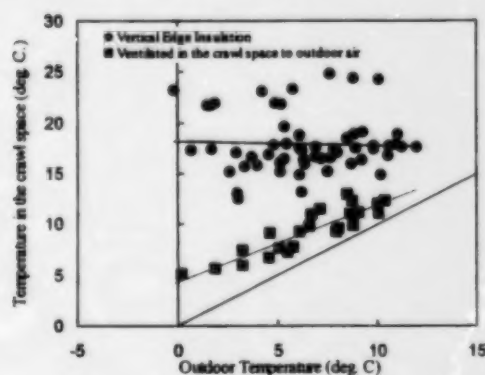


(a) non-VFI house

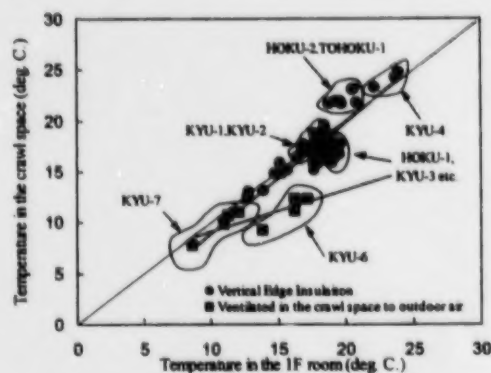


(b) VFI house

Figure 2 Temperature Difference between South and North zone in the crawl space and in the 1F room

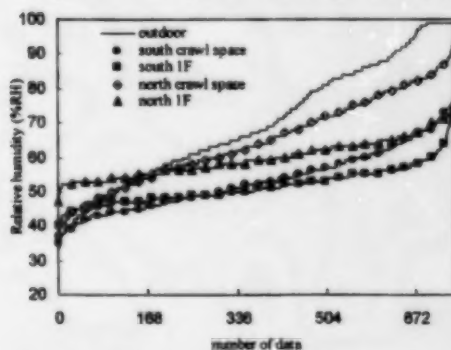


(a) outdoor and crawl space

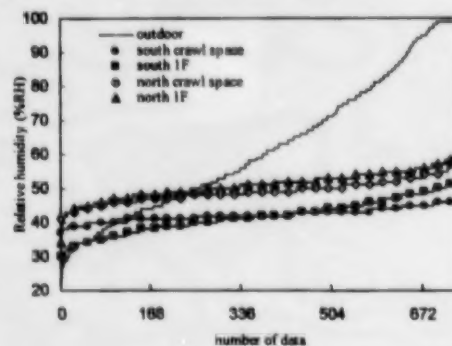


(b) 1F room and crawl space

Figure 3 Temperature among Crawl space, 1F room, and Outdoor air in winter season



(a) non-VFI house



(b) VFI house

Figure 4 Accumulated frequency distribution of the Relative humidity in winter season



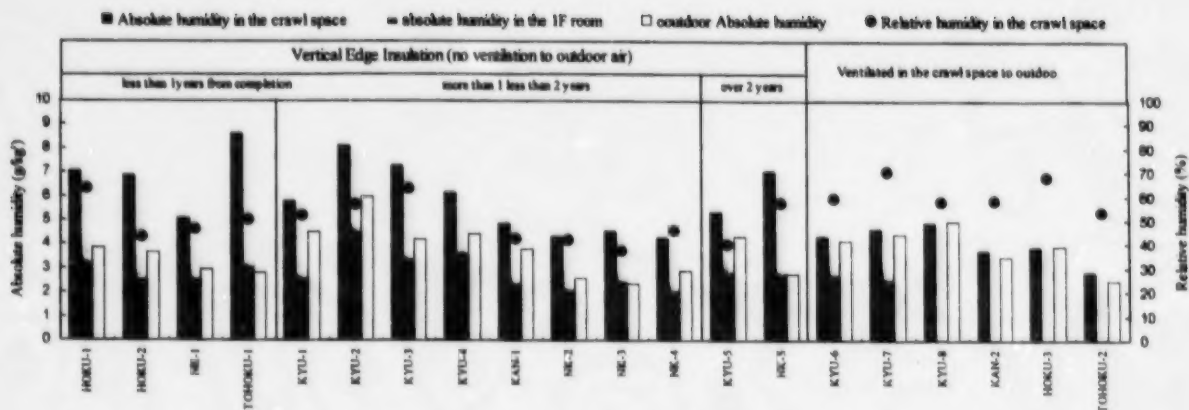


Figure 5 Average humidity condition in 1F room, crawl space and outdoor air in January

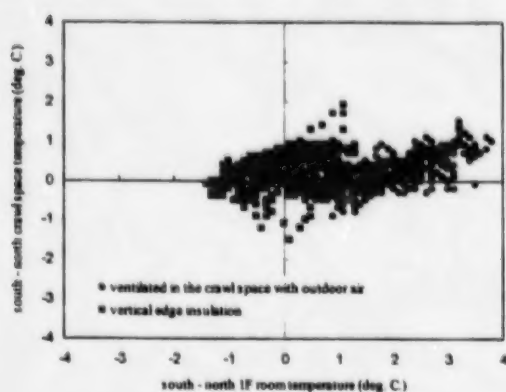


Figure 6 Temp. difference between south and north zone in crawl space and 1F room in summer of VFI and non-VFI

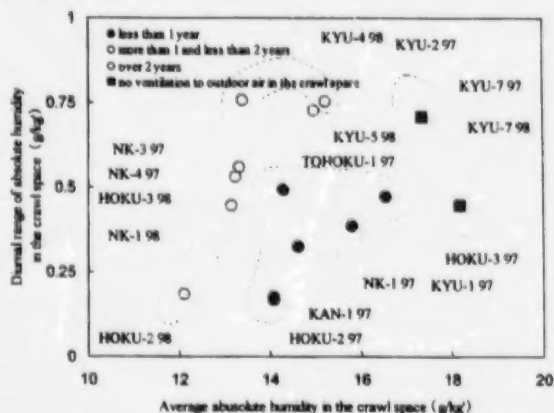


Figure 7 Average temperature and diurnal range of measurement houses

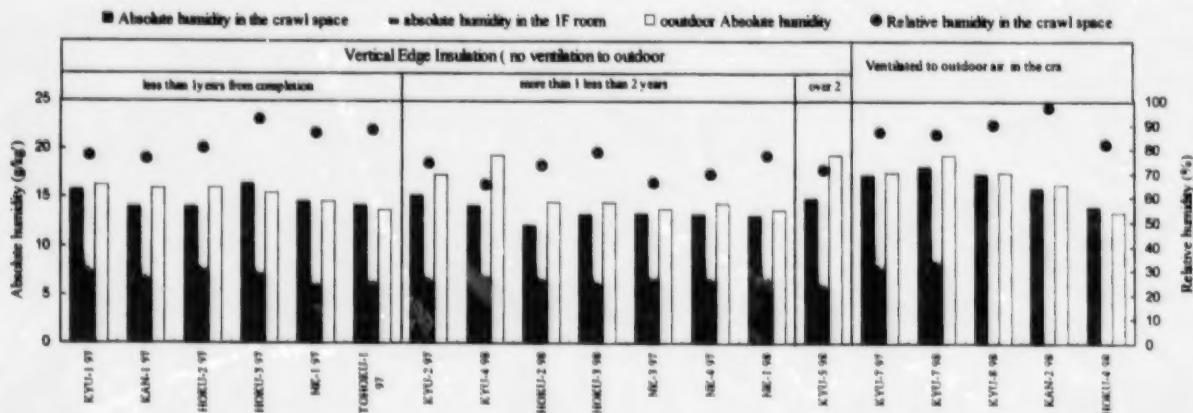
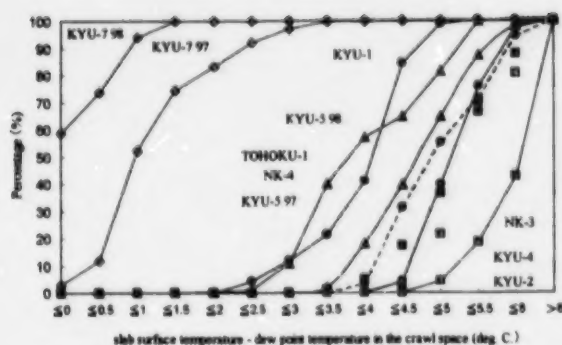
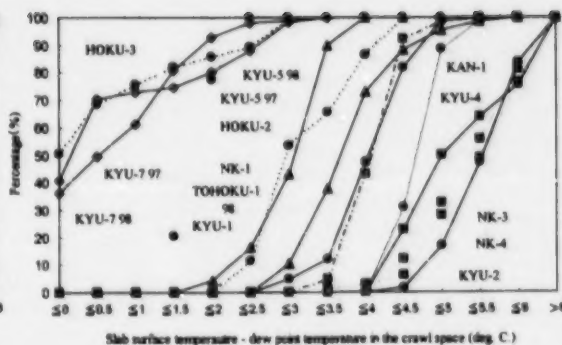


Figure 8 Average humidity condition in 1F room, crawl space and outdoor air in rain season (6/20-7/20)



(a) Late of June



(b) Early in July

Figure 9 Accumulated frequency distribution of the temperature difference between dew point in the crawl space and slab surface in rain season

Table 2 Governing Equation of heat and moisture transfer in hygroscopic area

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} - r \frac{\partial \psi}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T, \quad \rho_w \frac{\partial \psi}{\partial t} = \lambda' \nabla^2 \chi$$

#### Description

##### Numerical calculation

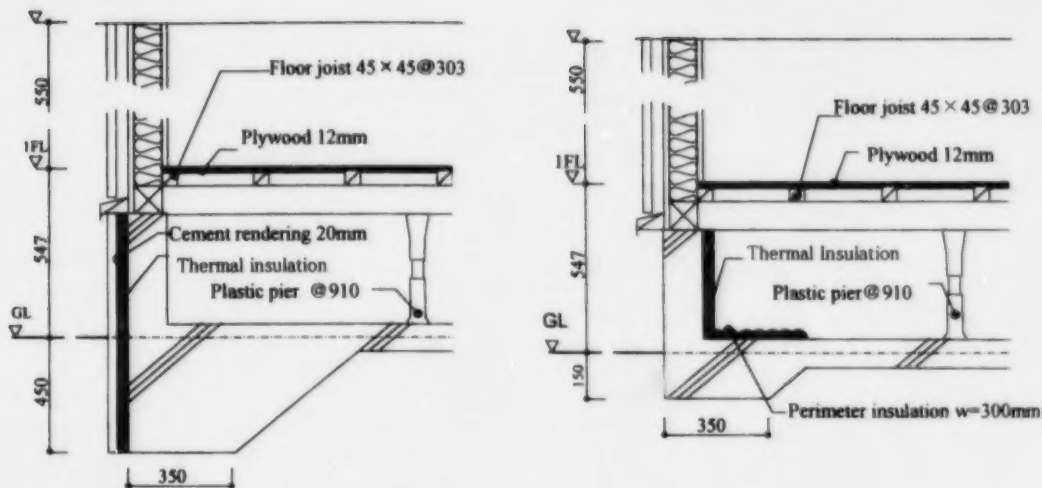
3-dimensional heat and moisture transfer model, backward differential equation, grid 32 \* 32 \* 31, time step : 1.0h,

Initial condition : 2 years calculation by outdoor condition approximated Fourier series 2clause, from measurement data

Material properties	Density (kg/m <sup>3</sup> )	heat capacity (J/(kg/K))	thermal conductivity (W/m/K)	vapor permeability (s)
concrete	$2.4 \times 10^3$	$7.9 \times 10^2$	$1.5 \times 10^0$	$5.60 \times 10^{-12}$
cement mortar	$2.0 \times 10^3$	$8.0 \times 10^2$	$1.5 \times 10^0$	$3.30 \times 10^{-12}$
soil	$1.5 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$	$1.5 \times 10^0$	$1.00 \times 10^{-11}$
wood	$5.0 \times 10^2$	$1.3 \times 10^3$	$1.4 \times 10^{-1}$	$8.00 \times 10^{-12}$
Polyurethane form	$4.0 \times 10^1$	$1.5 \times 10^0$	$2.4 \times 10^{-2}$	$3.10 \times 10^{-12}$
Boundary conditions	Heat transfer coefficient (W/(m <sup>2</sup> /k))		moisture transfer coefficient (s/m)	
Outside	$2.5 \times 10^1$		$1.24 \times 10^{-7}$	
Inside the 1F room	$9.0 \times 10^0$		$2.48 \times 10^{-8}$	
In the crawl space	$7.0 \times 10^0$		$1.24 \times 10^{-8}$	

Table 3 Location, structure and default value

Location	Asahikawa, Sapporo, Morioka, Sendai, Matsumoto, Tokyo, Yonago, Kagoshima
Insulation part	Exterior foundation wall interior foundation wall (with or without perimeter slab insulation)
Thickness of insulation	XPS B2 (0.0336w/mK) 75, 50, 25, 10, 0 mm
Ventilation rate	0.1, 0.2 1/h (between 1F room and in the crawl space) 0.1, 0.2 1/h (between Outdoor air and in the crawl space)



(a) Insulated on external side

(b) Insulated on interior side

Figure 10 simulation model

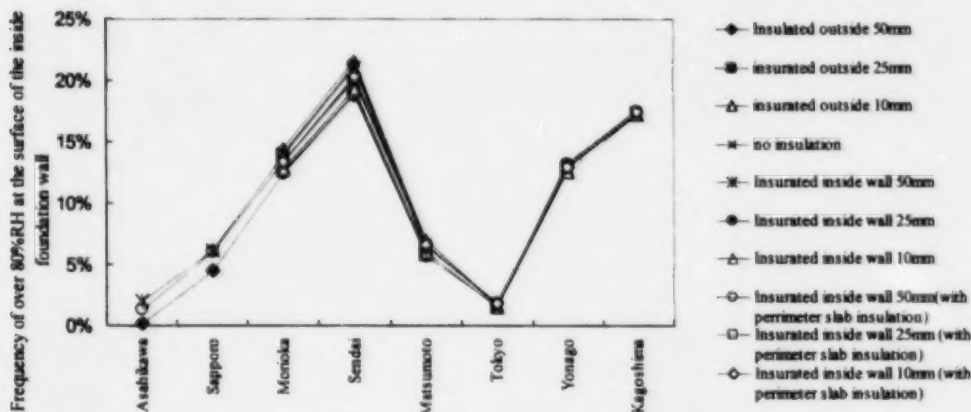


Figure 11 Relative humidity in the crawl space in several simulation cases

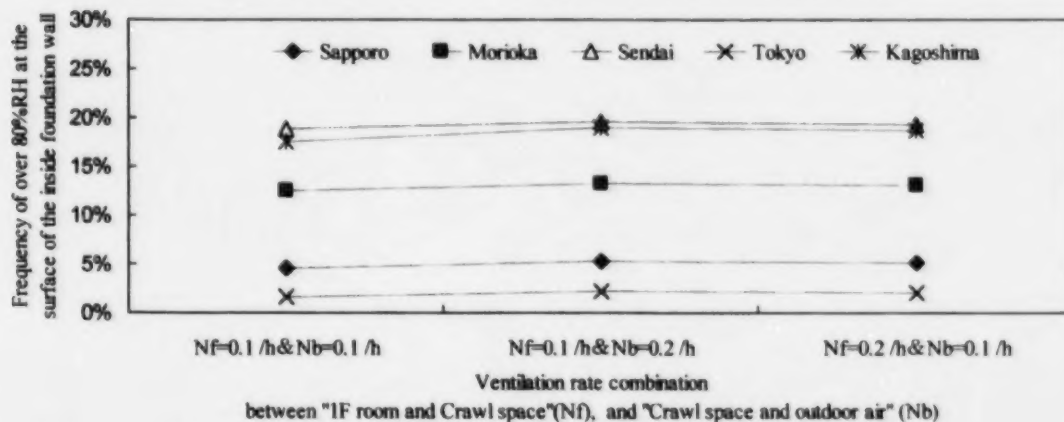
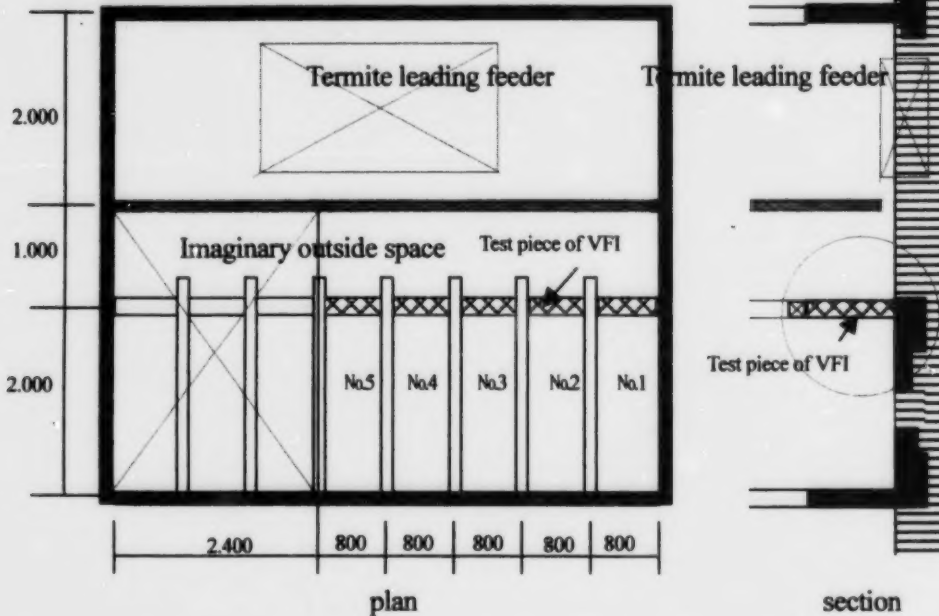


Figure 12 relative humidity in the crawl space by Influenced several ventilation rates

Natural variation of temperature inside during summer, air conditioned 30 deg.C. inside, and 18deg. C. in imaginary outside space, in fall season



Section number	Structure of the crawl space			Invasion into wall cavity	Termite trail under slab	Termite trail on the foundation wall
	Insulation part	foundation	termite block board			
1	Inside	mat foundation	-	Observed	-	Left side
2	Outside	continuous footing	-	Not observed	-	-
3	Outside	mat foundation	-	Observed	Corner at foundation wall	Right side
4	Outside	mat foundation	○	Not observed	Left corner at foundation wall	-
5	Under floor	continuous footing	○	Observed	-	Left side

Figure 13 Experimental house for termite damage and intermediary result (table above)

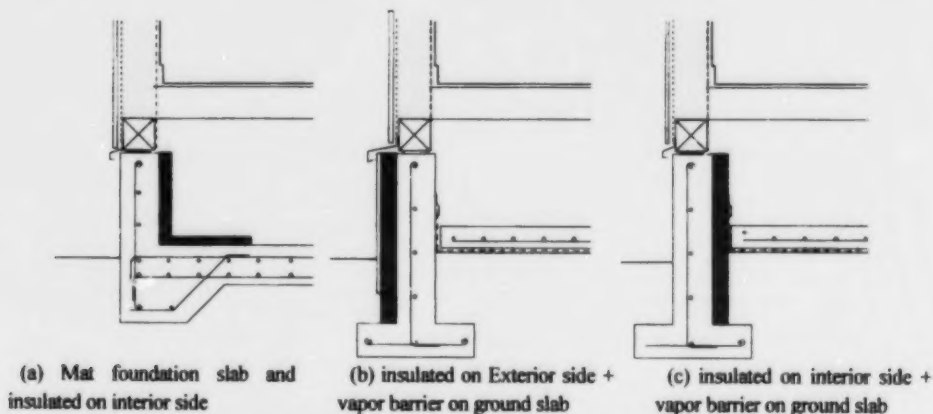


Figure 14 Foundation design (housing loan corporation of Japan :1999.9 at present)

## 基礎断熱住宅の全国適用に関する調査・研究

鈴木大隆	北海道立寒地住宅都市研究所	北海道札幌市西区 24-4-1-3-36
本間義規	北海道立寒地住宅都市研究所	北海道札幌市西区 24-4-1-3-36
坂本雄三	東京大学大学院工学研究科建築学専攻	東京都文京区本郷 7-3-1
永田明寛	東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻	東京都八王子市南大沢 1-1
岩前 篤	積水ハウス技術研究所	京都府相楽郡木津町兜台 6-6-1

### 1. はじめに

我が国の伝統住居の床下は、熱湿気的には、外部と一体化を図るべく積極的に開放した「外に開く」技術様式（写真1）と、外部と分離し室内空間との一体化を図るべく床面を積極的に開放した「内を開く」技術様式（写真2）がある。一方、地球環境保全と居住空間の快適性向上を目的とする住宅断熱技術として、従来から一般に行われている床断熱工法（図1a）に対し、新しい断熱技術といえる基礎断熱工法（以下、特に床下空間を有するタイプ）への関心が高まっている（図1b）。伝統住居に見られる「外に開く」技術と床断熱、「内を開く技術」と基礎断熱は、その背景、目的に相違はあっても、外部、室内、床下の相互の関係において、近似していることに気付く。

基礎断熱工法は、既に十数年前から北海道で普及展開し、その適用軒数は数万戸にのぼる。この地域における基礎断熱工法の優位性を挙げると、①床下空間の乾燥化、②床組木材の耐久性向上、③断熱気密施工の合理化、④床下地盤の熱的活用、⑤床下配管のメンテナンス向上などが挙げられる。これらは床断熱工法に対するアドバンテージともいえる。

筆者らは、それらの構法的特性を有する基礎断熱工法を、我が国の温暖な気候条件下での技術適用を図るべく、1997～1999年の3ヶ年に渡って研究委員会（事務局：IBEC）を設立し、研究調査を行っている。本報告は、その調査結果を整理し、温暖地における基礎断熱工法の特性を述べるものである。その取り組みは、冒頭に述べたように、新たな技術を作り出すというよりは、伝統住居に見られる住宅技術を、現代に再構築する作業という方が妥当かもしれない。

### 2. 検討の着眼点

既に明らかとなっている寒冷地の基礎断熱工法の主な適用条件は、以下のとおりである。

- a 冬期、床下結露の防止のため、全室暖房として床下空間の温度むらをなくす
- b 低負荷な全室暖房を実現するため、住宅外皮が高い断熱・気密性能を保持する
- c 地盤からの発湿を抑制するため、地盤防湿措置を講じる など

温暖地における基礎断熱工法の適用に際し、本委員会の主な検討項目は以下のとおりである。

- 1 冬期、部分間歇暖房時の床下温度むらが床下湿気性状に及ぼす影響
- 2 夏期及び梅雨期、高温高湿な外気、部分間歇冷房が床下湿気性状に及ぼす影響
- 3 全国主要都市を対象としたシミュレーションによる基礎断熱工法の適用条件の把握
- 4 蟻害への対応   ほか工法的特性の把握 など

### 3. 検討結果と考察

2-1～2-3 に関しては実測結果を基に検討を行う。



実測は2年間行い、全国8地域、基礎断熱住宅30軒、比較のために床断熱だが断熱・気密性に違いのある住宅（以下、これらを非基礎断熱住宅と称す）8軒を対象に、温湿度は南北の床下空間及び居室と外気の計5点、温度は北側の基礎内側表面と土間コンクリート床表面の計2点、木材含水率は北側大引材にて計測した。測定住宅のうち、本報告に関連のある住宅属性を表1に整理する。

### 3-1 冬期、部分間歇暖房時の床下温度むらが床下湿気性状に及ぼす影響と特性の把握

図2は、冬期、部分間歇暖房時に生じる居室の温度むらが床下に与える影響をみるため、1月の1階居室の南北差と床下温度の南北差の関係の典型例を示したものである。非基礎断熱住宅では1階居室の温度むらが床下温度に影響を与えているのに対し、基礎断熱住宅では1階居室に温度むらがあっても床下温度のむらは概ね2℃以内に収まっていることがわかる。図3は、測定住宅14軒の12月から3月の床下温度と外気温等との月別平均値の関係を示している。ここでは日変動の推移の図示は割愛するが、非基礎断熱住宅では5～10℃前後を中心として日変動するのに対し、基礎断熱住宅では概ね15～20℃の範囲で安定して推移しているのが特徴といえる。

図4は、床下相対湿度の累積頻度分布を示している。基礎断熱住宅の床下南北差は10%RH程度であり、各点が60%RHを超えていないのに対し、非基礎断熱住宅の床下南北差は20%RH以上にも開き、特に北側床下の相対湿度が冬期間の10%の期間で80%RHを超えていることがわかる。

図5は、竣工時期の違いが床下熱湿気性状に与える影響を知るため、竣工後の経過年数別に、各住宅の床下・居室・外気の絶対湿度と床下相対湿度の南北平均値と平均相対湿度を示したものである。非基礎断熱住宅の床下絶対湿度は、外気に近似し、居室より低くなる傾向がある。一方、基礎断熱住宅では、床下が居室より高くなることが多く、特に、竣工後の経過年数の浅い住宅が顕著だが、経年によりその差が少なくなっていることがわかる。

以上の結果が示すように、冬期、基礎断熱住宅は、初期的には床下絶対湿度が基礎RC部分の発湿による影響を大きく受ける。しかし、部分間歇暖房によって居室に温度むらが生じて、床下の温度むらは少なく室温に近似して安定的に推移する特性があるため、床断熱に比べて床下の相対湿度を低く保ち、防露性を高めていると考えられる。

### 3-2 夏期及び梅雨期、外気、部分間歇冷房が床下湿気性状に及ぼす影響と特性の把握

図6は、居室の温度むらと床下の温度むらの関係の典型例を示している。非基礎断熱住宅の床下温度むらは概ね±1.0℃の範囲にあるのに対し、基礎断熱住宅は0～4℃の差がある。基礎断熱住宅の床下は、床面日射受熱量、空調設備の運転形態や暮らし方など、上階の温湿度の影響を受けやすい特性があることが読みとれるが、冬期に比べればその差異は小さい。図7は、梅雨期における南北の床下温度の平均値と日較差の関係を示したものである。非基礎断熱住宅に比べて、基礎断熱住宅では日較差が概ね0.5℃以内で、床下温度は安定して推移していることがわかる。

図8は、竣工後の経過年数別に、各住宅の側床下・居室・外気の絶対湿度と床下相対湿度の南北平均値と平均相対湿度を示したものである。基礎断熱住宅は、初期的には床下絶対湿度が高く、80%RHを超える相対湿度になっているが、経年により絶対湿度が低下して居室にほぼ近似し、相対湿度は70%RH前後になる。冬期と同様、初期的に絶対湿度、相対湿度が高いのは、基礎RC部分の発湿による影響と考えられる。一方、非基礎断熱住宅は、床下絶対湿度は外気に近似し、相対湿度は100～70%RHの範囲で変動し、期間中の平均値も90%RH前後と高いことがわかる。

床下を構成する部位のうち最も低温となり結露に対して危険側となるのは土間床コンクリート

表面であり、その温度と床下露点温度の差は梅雨期が最も小さくなる（結露危険性が高くなる）。床下での結露危険性を知るため、図9は、梅雨期（6月下旬と7月上旬）における前述の温度差の累積度数分布をみたものである。図から、非基礎断熱住宅、経過年数1年未満の基礎断熱住宅の一部で土間表面温度が床下露点温度を下回り、結露危険性が高いのに対し、基礎断熱住宅の大部分は露点を下回ってないことなどがわかる。

以上の結果が示すように、夏期間のうち床下結露の危険性が高い梅雨期においては、非基礎断熱住宅に比べて基礎断熱住宅の床下が概して乾燥した性状が保たれること、基礎断熱住宅でも竣工後の経過年数が浅い場合は基礎RC部分からの発湿により、初期結露の危険性もあるが、経時によって次第に解消する特性がある。また、基礎断熱住宅の床下温湿度は、上階の暮らし方による影響をやや受けやすい。しかし、少なくとも床下の防露性は、床断熱のように地域によって相違がある温暖多湿な外気に委ねるより、基礎断熱のように極端な熱湿気環境とならない居室に床下を関連付ける方が安全側といえよう。

### 3.3 全国主要都市を対象とした床下温湿度シミュレーションによる検討

本委員会では、表2に示す計算条件・物性値で、地盤内の3次元的な伝熱、各構成材料の吸放湿の影響を考慮し、熱水分同時移動方程式に基づく床下温湿度の予測プログラムを開発・検証した。そこで、全国主要都市において、竣工初期の影響がなくなり周期定常になった基礎断熱工法の特性を知るため、表3に示す計算条件にて、外断熱モデルと内断熱モデルを設定（図10）し、地域、断熱条件（工法・断熱厚）、外気-床下-居室の交換換気量などをパラメータとして計算を行った。ここでは各計算結果の詳細は省略し、結露、カビ、木材腐朽の発生の目安になり得る相対湿度80%RH以上となる年間累積頻度で整理する。なお、図示していないが、どの地域・断熱条件でも、床下相対湿度が80%RH以上となるのは梅雨期～夏期にかけてで、冬期間は実測と同様にそれより低い湿度で保たれている。

図11は、地域と断熱条件毎の頻度を示したものである。この結果から、夏期、外気が比較的低温で高湿度となる仙台、外気が高温高湿度となる鹿児島などが、他の地域より高湿度な環境になる期間が多い。一方で、外断熱と内断熱（断熱補強の有無）や断熱厚の違いが床下相対湿度に及ぼす影響は少ない。断熱条件の違いが少ないのは、夏期は床下・外気・居室の温度差が小さく、断熱効果が表れ難いためと考えられる。図12は、基礎断熱された床下温湿度への関与が予想される外気-床下-居室の各交換換気量をパラメータとし、地域別の頻度を示したものである。この条件では、地域、すなわち気候条件の差が大きく、交換換気量の影響が少ないことがわかる。

以上の結果が示すように、床下の湿度環境は、梅雨期・夏期を除く期間は80%RHを超えることは殆どなく、床組の耐久上の問題はないと予想される。一方、夏期においては、80%RHを超えることもあるが、その発生頻度は仙台でも20%程度であり、床組の耐久性に支障を与えるとは考えにくい。また、床下相対湿度に対しては、気候条件が最も支配的な要因であり、断熱条件や各交換換気量が及ぼす影響は少ない。これらのことから、温暖地における断熱仕様は、防露性ではなく負荷の面から設定した方が適切といえる（次世代基準では負荷の面から仕様を定めている）。

### 3.4 蟻害への対応

温暖地の木造住宅の耐久性を損なう蟻害のうち、ヤマトシロアリによる食害は躯体の水分管理で抑制できるものの、イエシロアリによる被害は甚大で、水分管理のみで対応できないと言われており、蟻道防止対策と耐蟻害性の高い樹種・薬剤による対応が一般的に行われている。また、

実験室実験では、基礎断熱に多用される発泡系プラスチック断熱材は蟻道になり易いことが指摘されている[4]。基礎断熱工法は、熱的観点から外断熱によることが多く、白蟻の生息しない寒冷地からスタートしたこともあり、蟻害に関する工法的評価は行われていないのが現状である。

本委員会では、室内空気質に問題がある薬剤処理を前提とせず、特殊な施工技術を要さず耐蟻性に優れた基礎断熱工法の開発のため、九州南部に図 13 に示すような実験建物を建設し、建物内部に各種の基礎断熱手法を設置して、98 年夏と 99 年夏の 2 期に渡って、自然群生しているイエシロアリによる耐蟻性実験を繰り返し行っている所である。自然群生の白蟻による実際の実験は、世界的にも例はない。まだ、最終的判断はできないが、昨年の結果からは、かねてから指摘されているような断熱材が蟻道となり基礎断熱床下にイエシロアリが侵入するという形跡や基礎断熱工法の工法的特徴に起因する蟻害の形跡は認められていない。

#### 4. まとめ

基礎断熱工法の温暖地への適用に際し、部分間歇冷暖房による温度むらに起因する問題は少ないこと、竣工初期(概ね 1 年程度)を除けば、床断熱した場合に比べて、梅雨期も含めて低湿度に保たれており、床下乾燥維持に有効であることが明らかとなった。また、基礎断熱性能に関しては、防露性というよりは熱負荷抑制の観点から定めて良いことなどの知見も得られた。

これらの成果を受け、昨年 10 月より、住宅金融公庫融資住宅(一般型・耐久タイプ)における基礎断熱工法の全国適用が開始されている(図 14)。基礎断熱工法は、床面での断熱・防湿・気密施工に多くの手間を要する在来木造工法に適用されることが多い。在来木造工法でプラットフォーム床としたものは、床面の相当隙間面積 $\alpha A$ が $2\sim 3[\text{cm}^2/\text{m}^2]$ 前後(実測住宅の大部分、シミュレーションモデルが該当)となっており、通常の在来木造工法では間仕切下端部の空隙( $\alpha A=160[\text{cm}^2/455\text{mm}]$ )がさらに加わる(実測住宅の一部が該当)。そのため、居室と床下間で相当な交換換気があると予想され(定量的把握は未だ不十分だが)、在来木造工法において、交換換気を増すために床面換気口を設置する理由は見あたらない。しかし、これより高い床面気密性を有する住宅や、床面換気口を多量に設置した住宅での床下環境に関する知見は未だ十分とはいえない。また、薬剤処理を前提としない耐蟻性に優れた基礎断熱工法の検討も十分とはいえない。99 年度はこれらを中心に検討を重ねようと考えている所である。

#### 引用・参考文献

- [1] 坂本、鈴木、本間、永田、岩前 他：戸建て住宅の基礎断熱工法に関する研究(その 1~12)、日本建築学会大会学術講演梗概集、その 1~7 は 1998.9、その 8~12 は 1999.9 予定
- [2] 本間、鈴木、坂本 他：冬期の基礎断熱床下空間の温湿度環境、日本建築学会論文報告集 No.525 1999.11
- [3] 岩前、松本 他：地盤防湿処理のある床下空間の温湿度性状に関する研究、日本建築学会論文報告集
- [4] 鈴木憲太郎、萩尾：各種建築材料のイエシロアリ選択試験結果、第 48 回日本木材学会大会、1998.4



Photo 1 Open to external air of conventional wooden house

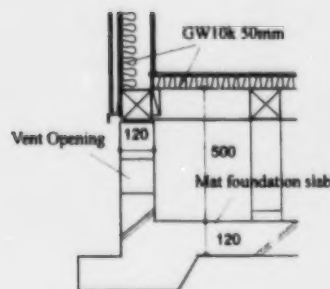


Figure 1(a) Floor Insulation Method



Photo 2 Close to external air of conventional wooden house

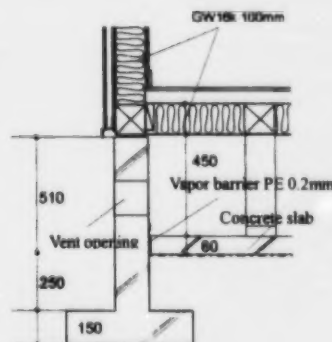


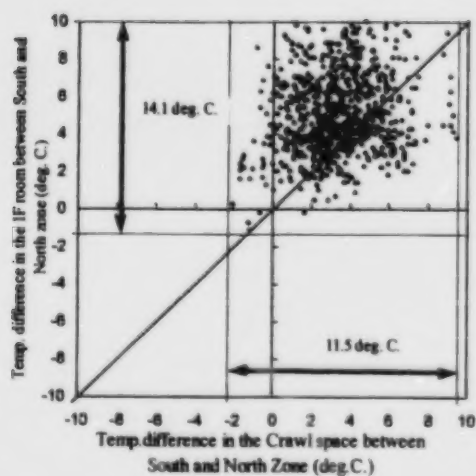
Figure 1(b) Vertical Edge Insulation Method

Table 1 Outline of measurement houses (not all measurement house included)

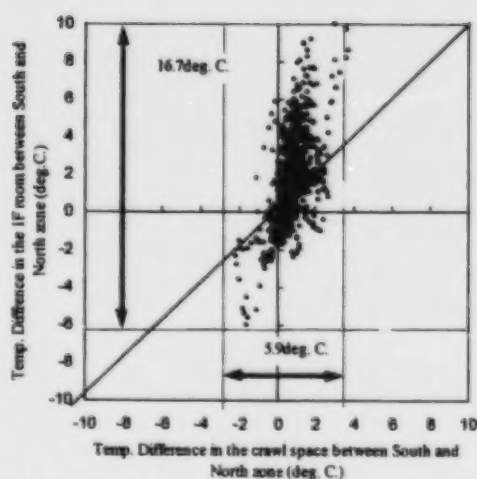
symbol	HOKU-2	HOKU-3	NK-1	TOHOKU-1	KYU-1	KYU-2
Insulation category	Vertical edge insulation (VFI)					
Passage year	Less than 1 year from completion					
Area	Hokuriku		Kita-Kanto	Tohoku	Kyushu	
location	Niigata	Ishikawa	Gunma	Miyagi	Miyazaki	Kagoshima
Insulation	foundation	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside XPS-b-1 30mm	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside XPS-B-3b 30mm
	ceiling	PUF89mm	PUF89mm	PUF89mm	PUF89mm	PUF89mm
	wall	PUF70mm	PUF70mm	PUF70mm	PUF70mm	PUF70mm
1/Floor area (m <sup>2</sup> )	156.4	86.1	163.8	132.5	57.9	57.1
Heating	Air conditioning	Air conditioning	FF heater	Air conditioning	Air conditioning	Air conditioning
ventilation	Exhaust central concrete	Exhaust central concrete	Exhaust central concrete	Exhaust central concrete	Exhaust central concrete	Exhaust central concrete
Vapor barrier						
Height of crawl space (mm)	300	300	400	330	310	425
Completion	1997.7	1997.7	1997.4	1997.7	1996.10	1996.6

symbol	KYU-4	KAN-1	NK-3	NK-3	KYU-5	KYU-7
Insulation category	Vertical edge insulation (VFI)					Non-VFI
Passage year	Over 1 year and less than 2 years					Over 2 years
Area	Kyushu	Kanagawa	Kita-Kanto		Kyushu	Kyushu
location	Fukuoka	Oosaka	Gunma		Fukuoka	Fukuoka
Insulation	foundation	Outside XPS-B-3b 30mm	Outside PUF 30mm	Outside PUF 30mm	Outside XPS-B-3b 75mm	-
	ceiling	GW 16k 100mm	PUF50mm	PUF70mm	GW 16k 100mm	GW 10k 50mm
	wall	PUF70mm	PUF30mm	PUF40mm	GW 16k 100mm	GW 10k 50mm
1/Floor area (m <sup>2</sup> )	149.6	88.6	61.5	147.5	219.2	66.0
Heating	Hot water panel	Air conditioning	Hot water panel	FF heater	Hot water panel	Kotatsu
ventilation	Exhaust central	Exhaust central concrete	Exhaust central concrete	Exhaust central	Partly exhaust	Partly exhaust
Vapor barrier	PE0.2 + concrete	concrete	PE0.2 + concrete	PE0.2 + concrete	PE0.2 + concrete	-
Height of crawl space (mm)	800	360	450	450	105	450
Completion	1996.8	1996.11	1996.5	1996.5	1995.3	1992.4

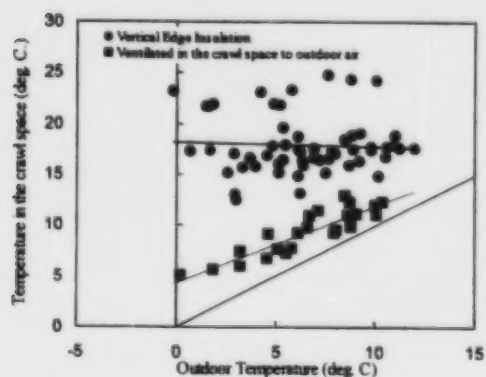


(a) non-VFI house

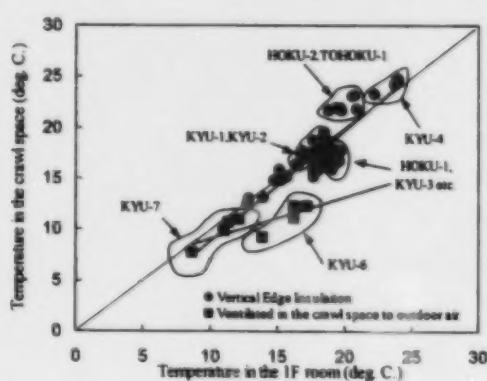


(b) VFI house

Figure 2 Temperature Difference between South and North zone in the crawl space and in the 1F room

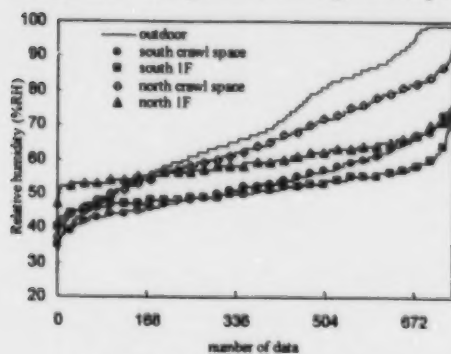


(a) outdoor and crawl space

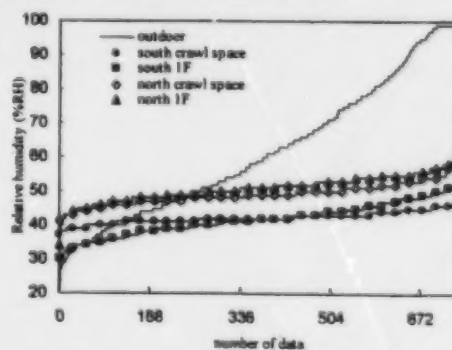


(b) 1F room and crawl space

Figure 3 Temperature among Crawl space, 1F room, and Outdoor air in winter season



(a) non-VFI house



(b) VFI house

Figure 4 Accumulated frequency distribution of the Relative humidity in winter season



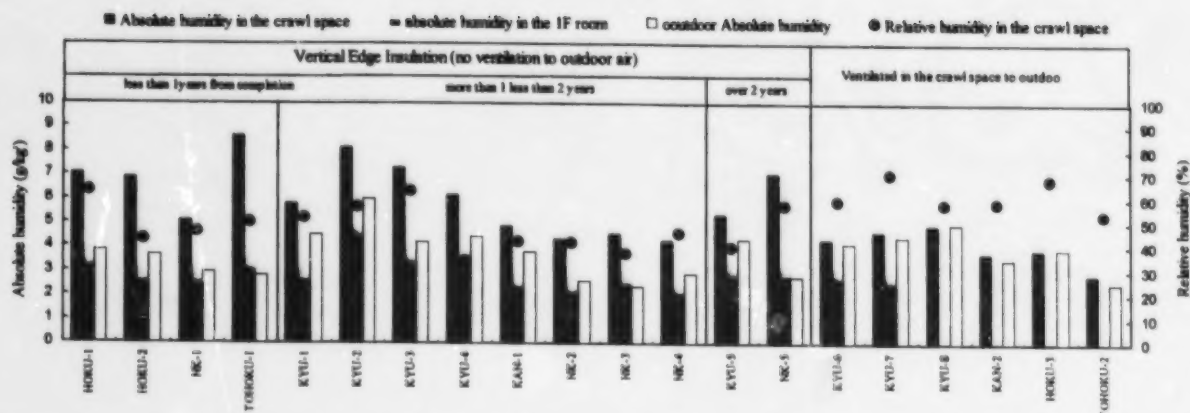


Figure 5 Average humidity condition in 1F room, crawl space and outdoor air in January

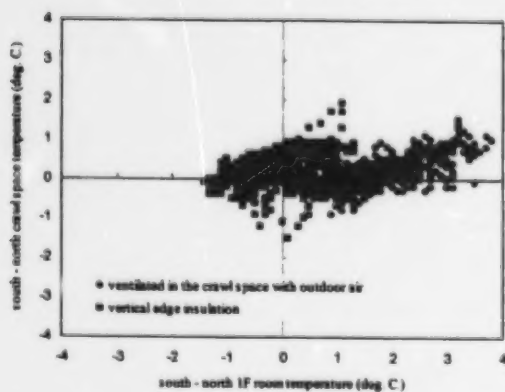


Figure 6 Temp. difference between south and north zone in crawl space and 1F room in summer of VFI and non-VFI

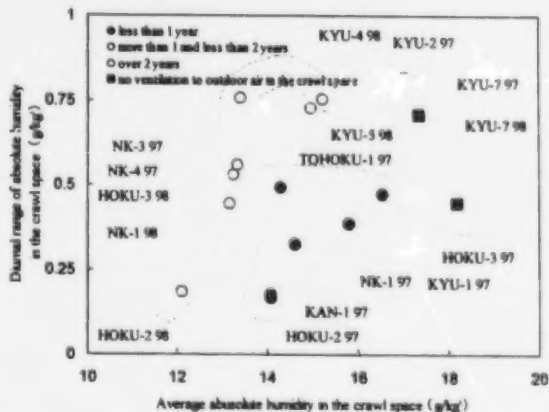


Figure 7 Average temperature and diurnal range of measurement houses

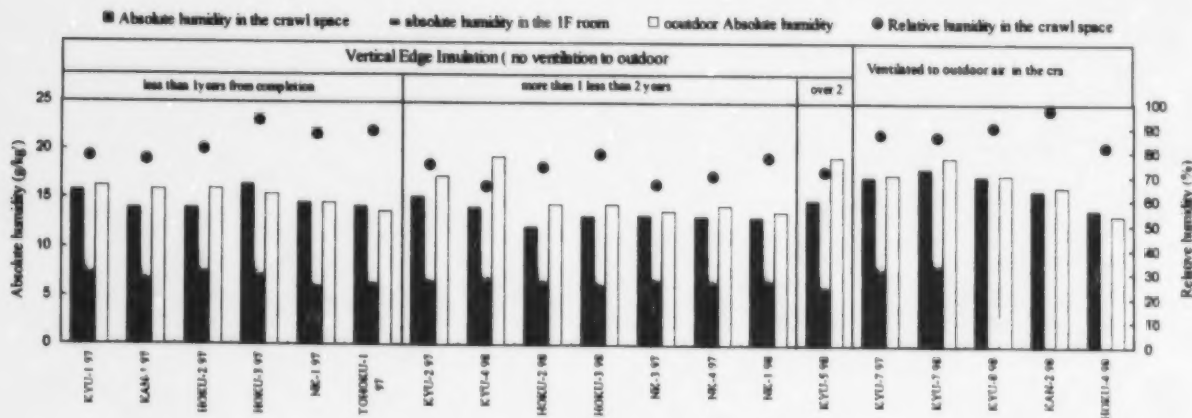


Figure 8 Average humidity condition in 1F room, crawl space and outdoor air in rain season (6/20-7/20)

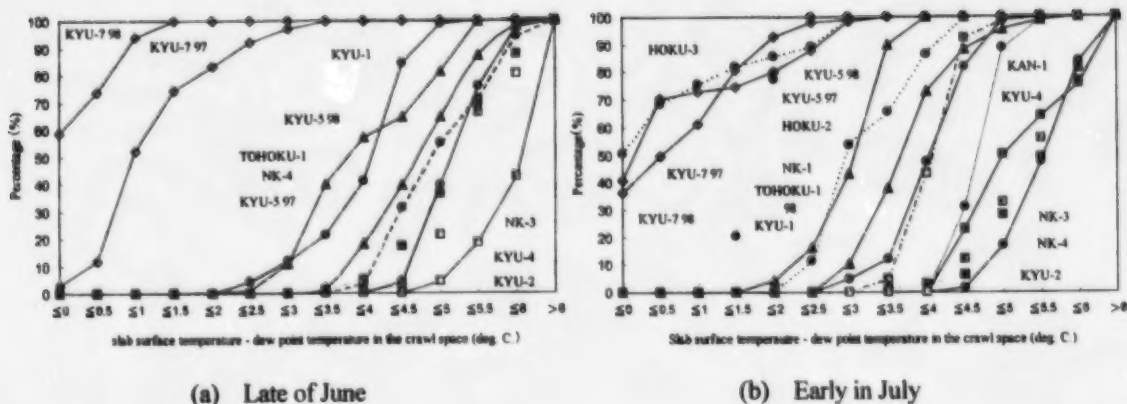


Figure 9 Accumulated frequency distribution of the temperature difference between dew point in the crawl space and slab surface in rain season

Table 2 Governing Equation of heat and moisture transfer in hygroscopic area

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} - r \frac{\partial \psi}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T, \quad \rho_w \frac{\partial \psi}{\partial t} = \lambda' \nabla^2 X$$

#### Description

##### Numerical calculation

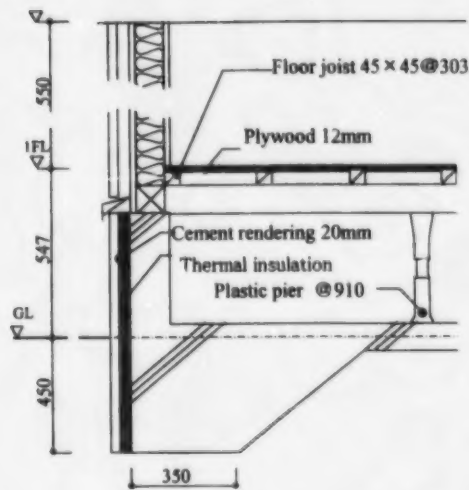
3-dimensional heat and moisture transfer model, backward differential equation, grid 32 \* 32 \* 31, time step : 1.0h,

Initial condition : 2 years calculation by outdoor condition approximated Fourier series 2clause, from measurement data

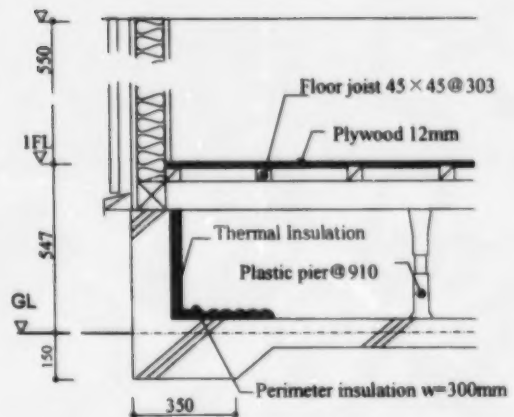
Material properties	Density (kg/m <sup>3</sup> )	heat capacity (J/(kg/K))	thermal conductivity (W/m/K)	vapor permeability (s)
concrete	$2.4 \times 10^3$	$7.9 \times 10^2$	$1.5 \times 10^0$	$5.60 \times 10^{-12}$
cement mortar	$2.0 \times 10^3$	$8.0 \times 10^2$	$1.5 \times 10^0$	$3.30 \times 10^{-12}$
soil	$1.5 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$	$1.5 \times 10^0$	$1.00 \times 10^{-11}$
wood	$5.0 \times 10^2$	$1.3 \times 10^3$	$1.4 \times 10^{-1}$	$8.00 \times 10^{-12}$
Polyurethane form	$4.0 \times 10^1$	$1.5 \times 10^0$	$2.4 \times 10^{-2}$	$3.10 \times 10^{-12}$
Boundary conditions	Heat transfer coefficient (W/(m <sup>2</sup> /k))		moisture transfer coefficient (s/m)	
Outside	$2.5 \times 10^1$		$1.24 \times 10^{-7}$	
Inside the 1F room	$9.0 \times 10^0$		$2.48 \times 10^{-8}$	
In the crawl space	$7.0 \times 10^0$		$1.24 \times 10^{-8}$	

Table 3 Location, structure and default value

Location	Asahikawa, Sapporo, Morioka, Sendai, Matsumoto, Tokyo, Yonago, Kagoshima
Insulation part	Exterior foundation wall interior foundation wall (with or without perimeter slab insulation)
Thickness of insulation	XPS B2 (0.0336w/mK) 75, 50, 25, 10, 0 mm
Ventilation rate	0.1, 0.2 1/h (between 1F room and in the crawl space) 0.1, 0.2 1/h (between Outdoor air and in the crawl space)



(a) Insulated on external side



(b) Insulated on interior side

Figure 10 simulation model

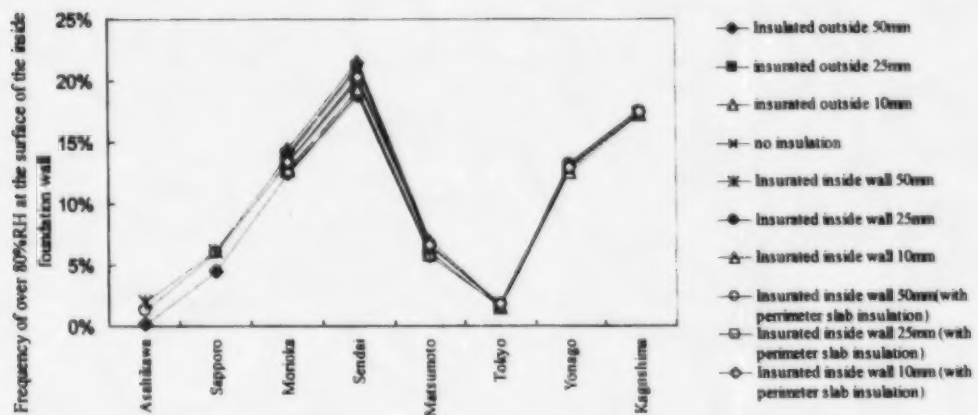


Figure 11 Relative humidity in the crawl space in several simulation cases

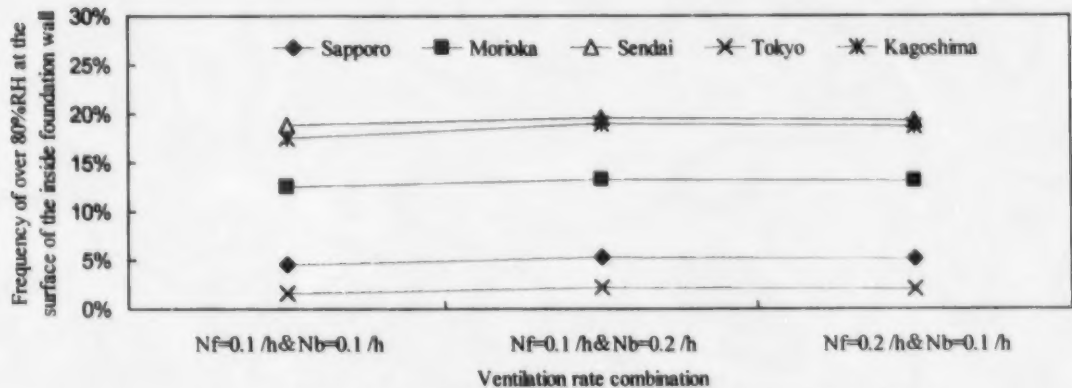
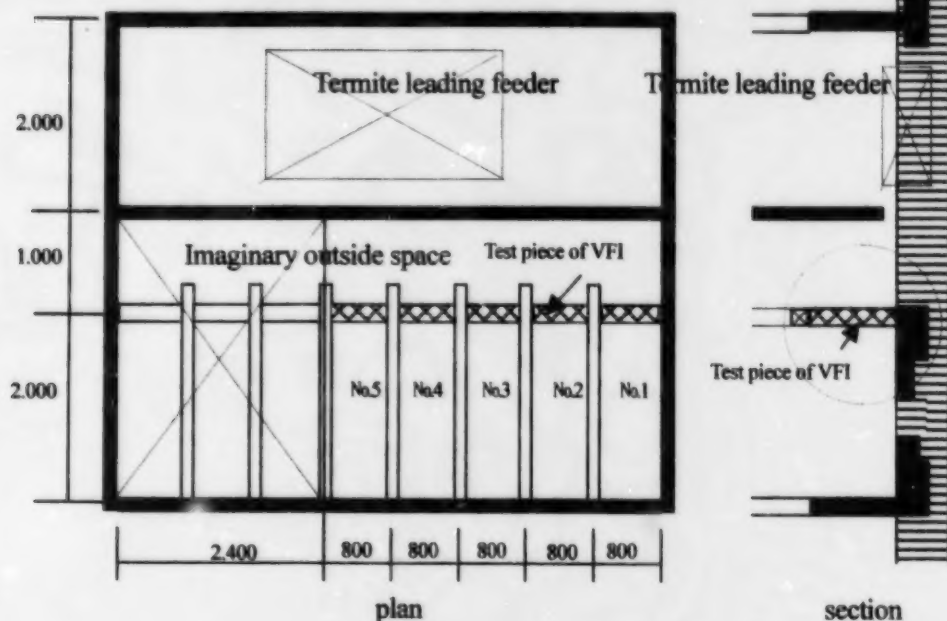


Figure 12 relative humidity in the crawl space by Influenced several ventilation rates

Natural variation of temperature inside during summer, air conditioned 30 deg.C. inside, and 18deg. C. in imaginary outside space, in fall season



Section number	Structure of the crawl space		Invasion into wall cavity	Termite trail under slab	Termite trail on the foundation wall
1	Inside	mat foundation	Observed	-	Left side
2	Outside	continuous footing	Not observed	-	-
3	Outside	mat foundation	Observed	Corner at foundation wall	Right side
4	Outside	mat foundation	Not observed	Left corner at foundation wall	-
5	Under floor	continuous footing	Observed	-	Left side

Figure 13 Experimental house for termite damage and intermediary result (table above)

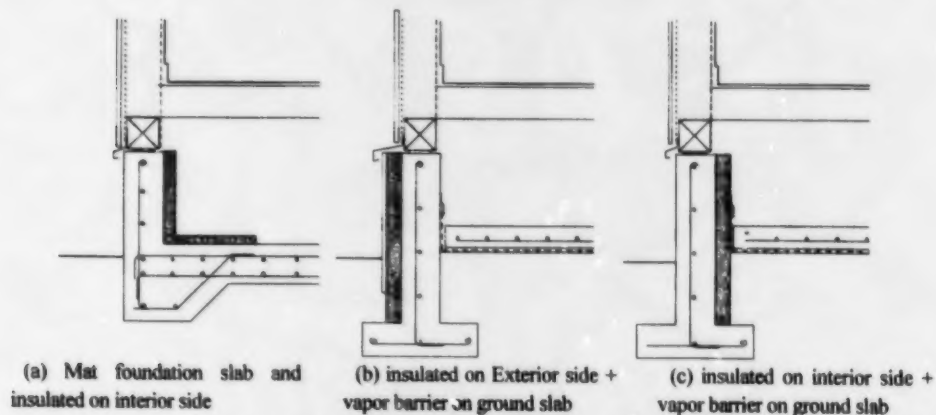


Figure 14 Foundation design (housing loan corporation of Japan :1999.9 at present)

# **Evolution of Building Envelope Construction Techniques in Coastal British Columbia**

C. Mattock, K. Ito and T. Oshikawa  
International Eco-House Inc.

Building envelope construction for multifamily wood frame housing in coastal British Columbia has undergone significant evolution during the past 3 years. This paper documents those changes.

The urban areas of British Columbia have a maritime climate characterized by moderate temperatures, a high frequency of wind driven rain and little snow accumulation. During the winter months in Vancouver, the largest rainfalls occur with very little sun. These conditions mean that buildings are exposed to high wetting with almost no drying potential. At the same time, moderate temperatures can allow for fungal growth even in the winter. Computer climatic simulations for southwestern British Columbia predict that winter wind speeds will increase over past 20-year averages and the amount of rainfall will also increase. These climatic changes are attributed to global warming.

Multifamily wood frame buildings are taking an increasing share of the housing market in urban areas. These buildings are typically 3 to 4 stories in height and are often located on a below grade concrete parking structure. Due to their height, they have large exposed wall areas. They are also becoming increasingly complex in form to provide the amenities required by the market and to meet the tastes of more sophisticated buyers. Common exterior finishes include conventional stucco, EIFS acrylic stucco and to a lesser degree wood and vinyl siding and brick veneer. These buildings are typically constructed of 2x6 framing with OSB or plywood sheathing, fiberglass insulation, polyethylene vapour barrier and drywall interior finish. Their insulation levels range from R20 (0.244 K value) to R40 (0.122 K value) in the roofs and R12 (0.406 K value) to R20 (0.244 K value) in the above grade walls, depending on fuel type, building size and jurisdiction.

## **Building Envelope Research Consortium**

To develop and promote construction of highly durable 3 and 4 story wood frame envelopes the Building Envelope Research Consortium of BERC was formed. BERC is a forum for directing the use of private and government research funds and developing ways to communicate the results of that research to the building industry. Some of the projects BERC has been involved with include:

- Providing overall guidance in the production of the "Best Practices Guide for Wood Frame Envelopes in the Coastal Climate of British Columbia", funding for this publication was supplied by Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Providing guidance in the development of quality assurance protocols to be used in the construction of 3 and 4 story wood frame buildings.
- Providing guidance for the "Envelope Drying Rates Analysis Study". This research project currently underway is aimed at determining the drying rates of various wall assemblies when



exposed to worst case winter conditions in the Coastal British Columbia climate. This project has been funded by a group of industry and government sponsors.

### **Mechanisms of Moisture Penetration**

In the rest of Canada in the winter, wetting is often due to condensation of moisture contained in indoor air as it leaks out of the building. While this is still a factor in the coastal climate of British Columbia, wind driven rain has proven to be a much larger source of moisture. For these reasons the following principles of moisture control have been promoted to the building industry in the following order of priority:

**Deflection:** Utilize components and elements of the building such as overhangs and flashings that reduce the exposure of the exterior walls to rain.

**Drainage:** Use envelop assemblies that will then redirect liquid water to the outside.

**Drying Elements** that promote drying through diffusion such as highly permeable wall sheathings.

**Use of Durable Materials:** Materials that resist rot such as CCA and borate treated lumber, stainless steel fasteners etc.

### **Overhangs**

In many cases, for reasons of aesthetics, maximizing floor space ratios due to building heights, overhangs are not used or cannot be incorporated to protect the entire wall area. In these cases the cladding materials must either be sealed or the driving force(s) pushing water through the cladding must be eliminated.

### **Face Sealing**

Preventing water penetration of a wall by sealing all cracks, penetrations and joints in a cladding, known as face sealing, requires a high level of workmanship and is very difficult to achieve when a building is first constructed. It is also very difficult to maintain a face seal over time as the cladding expands and contracts with temperature changes and the sealant and gaskets age as they are exposed to sunlight, temperature change and chemical attack. Face sealing also causes the cladding to become the air barrier in the wall assembly; this means that when wind blows against the wall the highest pressures will occur on the surface of the cladding more effectively forcing water into the wall if an opening does occur. A more effective method of controlling water penetration is to neutralize the forces that drive water into the envelope.

The forces that cause water penetration of cladding include

- ***Kinetic Energy***

Under the influence of wind, raindrops can impact a wall with considerable velocity so that their momentum carries them through large openings. If the raindrops hit a small opening and are shattered, then small droplets can continue inward, wetting the inside of the wall. Kinetic energy is effectively neutralized by the use of battens, splines, baffles, interlocks and overlaps at joints and connections.

- *Capillary*

Capillary suction draws or holds water in cracks and openings that are 0.5 mm or less in width. Water held by the capillary, depending on the size of the opening, can then be forced into the wall by wind or gravity. If the back side of the cladding is adjacent to the weather barrier, water, once it has entered through a crack or opening in the cladding, can travel in all directions by capillary. Capillary can also hold water between the cladding and weather barrier for long periods leading to degradation of the weather barrier. (Fig) Capillary is neutralized through the use of an air space of 18mm (3/4") or more between the cladding and the weather barrier / sheathing.

- *Gravity*

Gravity will pull water held in a capillary or located on the surface of a wall into any opening that is sloped downward and inward. Since preventing water entry by gravity is usually handled by conventional flashing and shingling of materials most openings that allow water entry by gravity occur after construction due to shrinkage of framing and cladding materials. Gravity is neutralized by the use of a drainage plane or air gap behind the cladding, that allows water to drain down the backside of the cladding and flashing that carry the water out at each floor line and at the base of the wall.

- *Wind Pressure*

The air pressure caused by wind blowing against a wall will cause a pressure drop across the wall. If the pressure drop occurs at the cladding, and there are openings in the cladding and water on the surface, the water will be driven through the cladding. To neutralize the force of wind pressure across the cladding the air pressure on the backside of the cladding must be equal to the pressure on the outside face of the cladding. This is accomplished by locating an air space behind the cladding, compartmentalizing the air space, placing sufficient openings in the cladding to allow wind to pressurize it and incorporation of an air barrier in the wall.

### **Simple Rain Screens**

Capillary and gravity can be neutralized by placing an air space or "drainage plane" behind the cladding. The drainage plane is drained to the outside at the floor line and /or base of the wall with flashing. The drainage plane is typically 18mm (3/4") in depth using vertical strapping, with a weather barrier membrane located over the sheathing behind the battens. This is referred to as a simple rain screen. Pressure treated or naturally rot resistant materials should be used for the furring. All fasteners used must be corrosion resistant when in contact with the furring materials in a wet environment - for example, for CCA pressure treated materials stainless steel nails are commonly used.

### **Pressure Equalized Rain Screen**

To effectively neutralize wind driven rain, the rain screen needs to be taken a step further and be constructed in a way that causes the air space behind the cladding to become pressurized when the wind blows against the wall (Fig). This is done by:

- Placing airtight vertical seals at a maximum spacing of 20 ft and at all corners to ensure air entering the air space does not escape around the side of the building.

- Placing a horizontal seal at the top of the air space (i.e. do not vent the rain screen cavity into the soffit). The floor-line flashing incorporated for drainage for the story above can form the horizontal air seal.
- Incorporate a continuous rigid air barrier in the wall
- Incorporate vent openings in the face of the cladding that allow for rapid pressurization. The sizing of the vents are related to the volume of the air space, the air tightness of the air barrier and the rigidity of the cladding. The vents should be continuous or evenly spaced across the width of the wall. To encourage drying of the wall horizontal vents can be placed in the face of the cladding both at the top and bottom of the wall.

Recent building code requirements for enhanced air tightness and air barrier durability combined with the increased use of rain screen construction has led to the use of a variety of air barrier systems other than the conventional sealed polyethylene approach. These include:

- Airtight Drywall Approach
- Exterior Permeable Membrane Approach
- Exterior Impermeable Membrane Approach

### **Airtight Drywall**

In the airtight drywall approach the interior finish drywall, framing and in some cases floor sheathing materials are systematically sealed at every penetration or joint using low density closed cell foam gasket, urethane caulking, construction adhesive or expanding foams to form a continuous interior air barrier.

### **Exterior Permeable Membrane Approach**

This system uses a permeable membrane such as spun-bonded polyolefin house wrap placed over the outside face of the wall sheathing. The house wrap is sealed to the foundation at the bottom of the wall and to the ceiling air barrier at the top of the wall. The house wrap material is joined with tape at all joints. Mechanical penetrations are sealed with tape or sealant. House wrap is used to line window and door openings, the window and doorframes are then sealed with expanding foams. To provide structural support vertical nailing strips are placed over the house wrap along the stud lines, these typically form part of the drainage plane behind the cladding.

### **Exterior Impermeable Membrane Approach**

This system uses a self-adhering waterproof membrane commonly known as peel and stick which is applied over the outside face of the wall sheathing. Rigid insulation is then placed over the outside of the waterproof membrane. Insulation may be placed inside the wall sheathing as long as the waterproof membrane is always kept above the dew point temperature. In Vancouver's climate, between 30 and 50% of the total wall insulation value may be placed inside the waterproof membrane. The wall air barrier is then made continuous by being connected to the ceiling air barrier and the foundation or the lowest level floor sheathing. This system provides both an air barrier, vapour barrier and water proof membrane protecting the wall from exterior water entry.

### **Field Testing and Inspection**

In addition to detailed visual inspections, increasing emphasis is being placed on physical testing of air barrier and site assembled windows. Air tightness testing is being used using fan door depressurization equipment following CAN/CGSB 149.10-M86 "Determination of the Air tightness of Building Envelopes by the Fan Depressurization Method". Site assembled windows are also tested to ensure conformance to CAN/CSA-A440-M,

## ブリティッシュコロンビア州沿岸地域におけるビルディング エンベロープの建設技法の発展

クリス・マトック, 伊藤公久, 押川智雄

インターナショナル・エコハウス社

ブリティッシュコロンビア州沿岸地域における木造集合住宅のビルディングエンベロープの建設技法は、過去三年間に著しい発展を遂げてきました。この論文は、それらの変化について述べています。

ブリティッシュコロンビア州の都市部は、穏やかな気温、頻繁な風雨、少ない積雪量に特徴付けられる海洋性気候です。また、冬期のバンクーバーは、日照時間も短く多量の降雨があります。これらの気象条件は、建物を多湿状態にさらし乾燥する機会をほとんど与えないことを意味します。それと同時に、温暖な気温は、冬期においてもカビなどの菌類を活動させます。ブリティッシュコロンビア州南西地域の気候のコンピューターシミュレーションによると冬期の風速は過去 20 年以上にわたり平均で増加しており、また、降雨量も増加しています。これらの気候の変化は、地球温暖化に原因があると考えます。

都市部において、木造集合住宅のマーケットシェアは増加しています。これらの建物は一般的に3~4階建てとなっており、しばしばコンクリート構造の地下駐車場の上に建設されています。建物は、その高さのために広い壁面積を露出しています。また、建物は、市場から要求されるアメニティを提供し、より教養のある購入者の好みに合わせるためにますます複合されてきています。一般的に外壁の仕上げには、従来からのスタッコに加え、EIFS アクリル製スタッコ、木質サイディング、樹脂製サイディング、化粧レンガなどを採用されています。これらの建物は、一般的に 2x6 のフレームに OSB または構造用合板の外壁下地、グラスファイバー製断熱材、ポリエチレン防湿膜そして、ドライウォールによる内壁仕上げで建設されています。建物の断熱性能は、暖房燃料の種類、建物の規模、管轄権により異なりますが、屋根においては R20 (0.244K) から R40 (0.122K)、地上部分の壁においては R10 (0.406K) から R40 (0.122K) となっています。

### ビルディングエンベロープ研究グループ (BERC)

高耐久性木造3~4階建て建物のエンベロープの開発と普及の増進のため、BERC のビルディングエンベロープ研究グループが組織されました。BERC は、民間および公的な研究資金の使途を指揮監督し、研究成果を建設業界に伝達する方法を開発するフォーラムです。いくつかの BERC のプロジェクトは、



以下のものに関連してきました。

- CMHCの資金提供による刊行物 *Best Practices Guide for Wood Frame Envelopes in the Coastal Climate of British Columbia*の編集に対する総合的なガイダンスの提供
  - 3～4階建て木造建築物の建設に使用される品質保証原案書の開発に対するガイダンスの提供
  - *gEnvelope Drying Rates Analysis Study*の編集に対する総合的なガイダンスの提供
- このリサーチプロジェクトは、冬期のブリティッシュコロンビア州沿岸地域における最悪の状態にさらされた際の各種壁組の乾燥率を決定することを目的とし、現在進行中です。このプロジェクトは業界団体と政府により資金提供がなされています。

### 湿気の浸入のメカニズム

冬期のカナダの他の地域においては、屋外に漏れ出す屋内の湿った空気による結露がしばしば壁内の濡れの原因になります。ブリティッシュコロンビア州沿岸地域では、これが要因となるのに加え、風雨が湿気のより大きな源となることが証明されています。これらの理由により以下の優先順位で湿気のコントロールの原理が建設業界に奨励されてきました。

逸らす：外壁の雨への露出を減らす軒や水切りなどの建物の部品と要素を役立たせる

排水：液体の水を外へ導くようなエンベロープの組み立て部品を使用する

乾燥：拡散により乾燥を促進させる高浸透性の外壁材のような要素

高耐久性の材料の使用：CCAやホウ酸などで防腐処理された木材やステンレス製留め具などの材料

### 軒

多くの場合、美観、床面積の最大限確保などの理由により壁全体を保護する軒は採用されないことがあります。これらのケースにおいては、外装材をシールするか、外装材を通じて水を押し込む力を排除しなくてはなりません。

### 表面防水

壁の全ての亀裂、外装材の貫通部、接合部をシールする事によって水の浸入を防ぐことは、表面防水として知られていますが、高い技量を必要とし建物の当初の建設段階で完璧に仕上げることは大変困難です。また、温度変化による外装材の伸縮や日光、温度変化、薬品などによる腐食が要因でシーラントやガスケットの老化などがありますので、長年にわたって表面防水を維持管理することも大変困難です。また、表面防水は、壁の構成要素である外装材をエアーバリアにしてしまうので、壁に対して風が吹いたとき壁に穴があった場合には、より効果的に水を押し込む力となりうる高い圧力を外装材の表面に発生さ

せます。したがって、より効果的に水の浸入を防止するには、水をエンベロープに押し込む力をなくさなくてはなりません。

外装材を通じてへの水を浸入させる力には以下のようなものがあります

- **運動エネルギー**

風の影響下においては、雨粒はかなりの速度で壁に衝撃を与え、その運動エネルギーにより雨粒は壁の大きな亀裂を通して中へ入り込みます。雨粒が小さな亀裂にぶつかりはじけると雨粒は内部に向かい壁の中を湿らします。

運動エネルギーは、押縁、雇いざね、バツフル、インターロック、接合部や結合部での効果的な重ね合わせ施工によりその効力をなくすことができます。

- **毛細管現象**

0.5mm 以下の亀裂や穴は毛細管現象により水を引き込んだり溜めたりします。穴の大きさにもよりますが、毛細管現象により溜まっている水は風や引力により壁内に押し込まれます。外装材の裏側でウエザーバリアが近接している場合、外装材の亀裂や穴から入り込んだ水は、毛細管現象によりあらゆる方向へ移動します。毛細管現象は、長い期間にわたり外装材とウエザーバリアの間に水を溜め、ウエザーバリアの劣化を誘発します。外装材とウエザーバリア、または外壁下地材の間に 18mm 以上のスペースを確保することにより毛細管現象の効力をなくすことができます。

- **重力**

重力は、毛細管に留まっている水や壁の表面にある水を奥へ向かって下り勾配になっているあらゆる穴を通じて壁内引き込みます。重力による水の浸入を防ぐためには、フレーミング材や外装材の竣工後の収縮により亀裂からの水の浸入を従来式の水切りと覆瓦構造とします。重力の効力をなくすには、排水面またはエアーギャップを外装材の裏面に設けます。これにより外装材の背面の水を下へ排水し各フローラインと壁の底辺の水切りで外へ排出します。

- **風圧**

壁に対して吹き付ける風によって起こる空気圧が壁全体に加わっている状況下では、壁内の圧力が外部に比べて低い状態となります。この状態で外装材に穴があると外装材の表面に水があると水は外装材の穴を通じて壁内に押し込まれます。壁全体の風圧による力の効力をなくすには、外装材の背面の気圧を外装材の外側表面の気圧と同じにしなければなりません。これは、エアースピー

スを外装材の背面に設け、エアースペースを区分し、それらが風により圧力が十分かかるように外装材に開口部を設け、壁の中のエアバリアと結合することにより達成されます。

### 外壁通気層 (Simple Rain Screen)

毛細管現象と重力は外装材の背面にエアースペースまたは排水面を設けることにより効力をなくすことが出来ます。排水面にある水は各フローラインと壁の底辺の水切りで外へ排出されます。排水面は、一般的に 18mm 幅の垂直の縦胴縁で押縁の背面で下地材の表面全体にあるウエザーバリア膜とともに使います。これは、シンプルレインスクリーンと言われます。下地材には、防腐加工または、天然防腐性の材料を用いなくてはなりません。湿った環境で下地材に接する留め具は、耐腐食性でなくてはなりません。例えば、CCA 防腐処理済木材にはステンレスが一般的に使われます。

### 均等気圧レインスクリーン (Pressure Equalized Rain Screen)

効果的に風で押し込まれる雨をなくすためには、レインスクリーンに更なる手を打つ必要があり、そして壁に対して風が吹き付けたときに外装材の背面のエアースペースが加圧になることを起こさせる方法で施工します。これは以下の方法で行われます。

- 建物のコーナーと最大間隔 20ft で垂直方向に気密シールを施工し、エアースペースに入った空気が建物側面の周囲で確実に漏れないようにする。
- 水平方向のシールをエアースペースの上端に施工する(レインスクリーンの空間をソフィット(軒)の中へ開放しないこと)。排水の機能を持たせた上層階のフローライン水切りは水平方向のシールを形成することになります。
- 連続的な硬質エアバリアを壁に組み込む
- すばやく加圧させるために外装材の表面に吸気口を組み込む。吸気口の大きさはエアースペースの容積、エアバリアの気密度、外装材の硬さに関係します。吸気口は、壁の幅全体に連続するか、または均一な間隔でなければなりません。壁の乾燥を促進ために水平換気口を壁の上端と下端の外装材表面に設置することも出来ます。

最近の建築基準法は、機能強化された気密性とエアバリアの耐久性はレインスクリーン構造の使用増と相まって、従来のポリエチレンによる手法以外の数々のエアバリアシステムを用いることを指導してきました。これらには下記のものを含みます

- 気密ドライウォール工法

- 外部隔膜工法
- 外部不透過性膜工法

### 気密ドライウォール工法

気密ドライウォール工法において連続的エアースリットを形成するために、内壁仕上げドライウォール、フレーミング、また場合によって床下地材などの全ての貫通部分と接合部分においてクロズドセル(微細な独立気泡)構造フォームでできたガスケット、ウレタンコーキング、建築用接着剤、膨張フォームなどを用いシステムの的にシールされます。

### 外部隔膜工法

このシステムは、スパンボンデッド・ポリオリフィン・ハウスラップのような隔膜を使用し、外壁の表面を覆います。ハウスラップは、壁の下端で基礎に、また壁の上端では天井のエアースリットにシールされます。ハウスラップは、全ての接合部においてテープで接合されます。配管などの貫通部はテープまたはシーラントでシールされます。ハウスラップは、窓やドアの開口部のライナーに用いられ、窓とドアのフレームは膨張フォームでシールされます。外装材の構造的な支持のために垂直方向の受材をハウスラップの上からスタッドに沿って配置します。これは一般的に外装材背面の排水面の一部となります。

### 外部不透過性膜工法

このシステムでは、一般的に"peel and stick"として知られている自己接着性の防水膜を使用し、外壁下地材の外側全体に施工します。そして硬質性断熱材を防水膜の上から施工します。防水膜の温度が絶えず露点以上である場合には断熱材を外壁の中に施工することも出来ます。バンクーバーの気候においては、壁の断熱値の 30~50%分の断熱材を防水膜の内側に施工することが出来るでしょう。壁のエアースリットは天井のエアースリットと基礎または一番低い位置の床下地材に接続され連続的なものとなります。このシステムはエアースリット、ペーパーバリアそして壁を外部からの水の浸入から守る防水膜としての役割を果たします。

### フィールドテストと検査

詳細な目視検査に加えエアースリットと現地組み立ての窓の物理的な試験を重要視することがますます強調されつつあります。気密テストには、CAN/CGSB 149.10-M86 *g Determination of the Airtightness of Building Envelopes by the Fan Depressurization Method*に従った減圧式ファン装置が使用されます。現場組み立ての窓についても CAN/CSA-A440-M に確実に適合していることを試験します。

# Simplified Indicator of Solar Heat Gain Effect for Residential Buildings - "corrected heat loss coefficient" with consideration of solar heat gain -

Yuichiro Kodama, Kobe Design University, Prof., Dr.  
8-1-1, Gaku-en Nishimachi, Nishi-ku, Kobe, Japan  
y-kodama@kobe-du.ac.jp

## 1. Introduction

Heat loss coefficient is a commonly used convenient indicator of buildings' thermal characteristics. The authors proposed the extension of the indicator in order to take heat gain performance into consideration. The extended indicator is called *corrected heat loss coefficient*. In this paper, for easier application of the corrected heat loss coefficient, a new index, *correction factor of solar heat gain effect*, is defined and validated.

## 2. Definition of corrected heat loss coefficient

*Heat loss coefficient* is defined as heat loss through the envelope plus ventilation heat loss per unit floor area and per hour. It has been adopted as a major evaluation indicator

in Energy Conservation Regulation for Residential Buildings since 1979. *Correction factor of solar heat gain effect* is simply defined as solar heat gain per unit floor area and per hour, and *corrected heat loss coefficient* is defined as *heat loss coefficient* minus *correction factor of solar heat gain effect*. The correction factor of solar heat gain effect can be determined by the conditions of solar glazings (windows), *utilization ratio of solar heat "m"* and *regional potential for passive solar*. The *corrected heat loss coefficient* can be defined as follows.

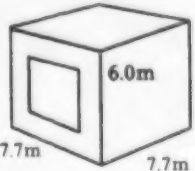
$$Q_m = Q - R = Q - m \Sigma (f \cdot \tau \cdot A_g) P_{sp} / S$$

where  $Q_m$ : corrected heat loss coefficient [W/m<sup>2</sup>K]  $Q$ : heat loss coefficient [W/m<sup>2</sup>K]  $R$ : correction factor of solar heat gain effect [W/m<sup>2</sup>K]  $m$ : utilization ratio of solar heat [-]  $f$ : correction factor of shading devices [-]  $\tau$ : transmittance of solar glazing [-]  $A_g$ : glass area of solar glazing [m<sup>2</sup>]  $P_{sp}$ : passive solar potential [W/m<sup>2</sup>K]  $S$ : floor area [m<sup>2</sup>]

## 3. Determination of utilization ratio of solar heat "m"

The utilization ratio of solar heat "m" is assumed to be solely dependent on the level of heat capacity inside insulating envelope, as shown in Table 3. The table is based on the result of the simulation which was done for the conditions shown in Table 1. It includes fifteen geographical locations, three different size of solar glazings and twenty-seven combinations of heat capacity. Table 2 shows the minimum "m" value simulated for each combination of heat capacity

Table 1 Assumptions applied when calculating the solar heat utilization coefficient, "m"

(1) Location (climatic data) Kutsukata, Sapporo, Sugayu, Hachinohe, Yamada, Hijiori, Sendai, Mito, Akana, Numata, Tokyo, Kuraoka, Makurazaki, Yutsu (15 geographical points)	
(2) Characteristics of the model house Total floor area: 150 m <sup>2</sup> Shape: rectangular parallelepiped (the above figure) Opening area ratio to floor area: 25 % Opening area effective for solar heat gain: 7.5 m <sup>2</sup> , 15 m <sup>2</sup> , 22.5 m <sup>2</sup> (Total opening area fixed) Heat storage capacity of roof, wall and floor: 10mm, 50mm, 100mm (expressed in an equivalent thickness of concrete, of which specific heat is 2085 kJ/m <sup>3</sup> ), which make 27 combinations	
(3) Simulation program: PASSWORK	



allocation to roof, wall and floor. The m-value is dependent mainly on the heat capacity of the floor, when the equivalent thickness for both roof and wall is equal or larger than 50 mm. To avoid the overestimation of solar heat gain, the minimum m-values are adopted for the m-value representing each combination of heat capacity allocation. According to heat capacity of the floor and other parts (the roof and the wall), m-value can be selected from four values in Table 3.

Table 2 heat capacity of the floor and other parts per unit floor area, and minimum "m" value

Thickness*		10mm			50mm			100mm		
		10mm	50mm	100mm	10mm	50mm	100mm	10mm	50mm	100mm
10 mm	floor	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	other	38	147	283	80	189	325	132	241	377
	m	0.50	0.57	0.61	0.62	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
50 mm	floor	52	52	52	52	52	52	52	52	52
	other	38	105	283	79	188	324	132	240	376
	m	0.65	0.66	0.68	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
100 mm	floor	104	104	104	104	104	104	104	104	104
	other	38	95	283	84	188	324	132	241	377
	m	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

\*Thickness of heat storage components is equivalent one as concrete component

\*\*Heat capacity in  $\text{kJ/Km}^2(\text{floor})$

Table 3 utilization ratio of solar heat "m"

Heat capacity per unit floor area		m
floor	other than floor	
$\geq 100 \text{ kJ/K}$	$\geq 200 \text{ kJ/K}$	0.75
	$< 200 \text{ kJ/K}$	0.70
$\geq 50 \text{ kJ/K}$	$\geq 100 \text{ kJ/K}$	0.70
	$< 100 \text{ kJ/K}$	0.60
$\geq 10 \text{ kJ/K}$	$\geq 100 \text{ kJ/K}$	0.60
	$< 100 \text{ kJ/K}$	0.50
$< 10 \text{ kJ/K}$		0.50

Table 4 Passive solar potential,  $P_{sp}$

	Range of $P_{sp}$	Representative $P_m$
A	0 - 3.5	2.3
B	3.5 - 6.0	4.8
C	6.0 - 8.5	7.3
D	8.5 - 11.0	9.8
E	11.0 -	12.3

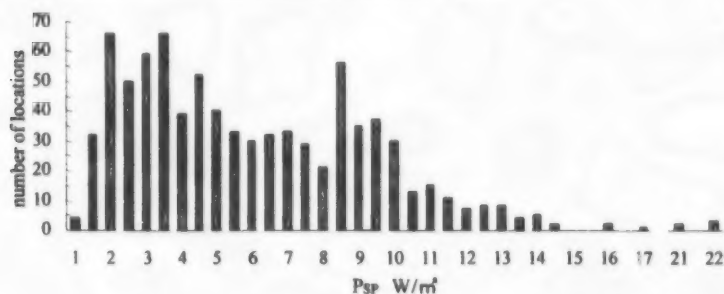


Figure 1 Distribution of  $P_{sp}$

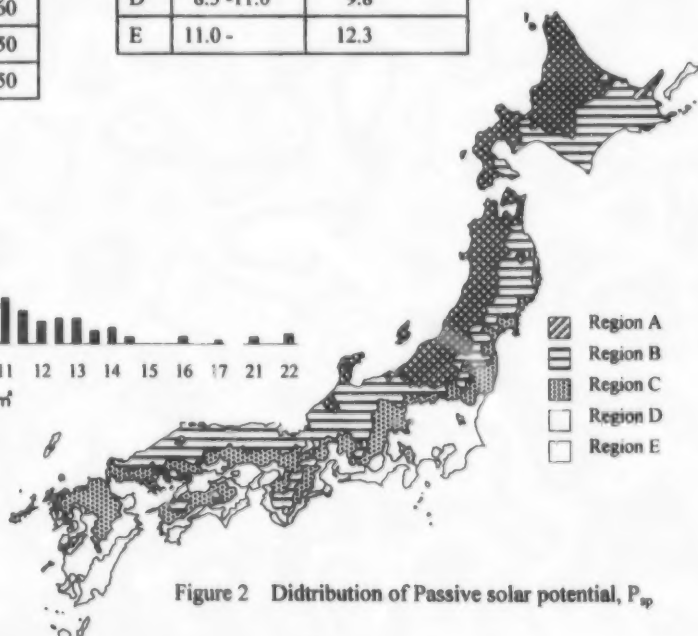


Figure 2 Distribution of Passive solar potential,  $P_{sp}$

#### 4. Determination of Passive Solar Potential, $P_{sp}$

Passive solar potential,  $P_{sp}$  is calculated for 825 geographical locations on the basis of AMEDAS climatic database for fifteen years, by using air temperature and solar radiation in January. Five ranks of  $P_{sp}$  was made as shown in Table 4 and Figure 2. Frequencies for every  $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$  range is shown in Figure 1. Between  $0 \text{ W/m}^2\text{K}$  and  $14 \text{ W/m}^2\text{K}$ , where each range has more than 5 locations, is divided into five categories, and the mean value of each category is used as the representative  $P_{sp}$ .

#### 5. Error in correction factor of solar heat gain effect, $R$ , due to using representative $m$ -value and $P_{sp}$ for each categories

The agreement of the correction factors of solar heat gain effect, which are calculated with peculiar  $m$ -value and  $P_{sp}$  and with representative values of categories under which peculiar heat capacity specification and geographical location fall, is examined in Figure 3. If  $R$  is relatively small, the agreement is fairly good, but if it is larger, the agreement becomes weaker. However, it can be said that there is no overestimation of solar heat gain effect, even if categorical values are used as easier estimation.

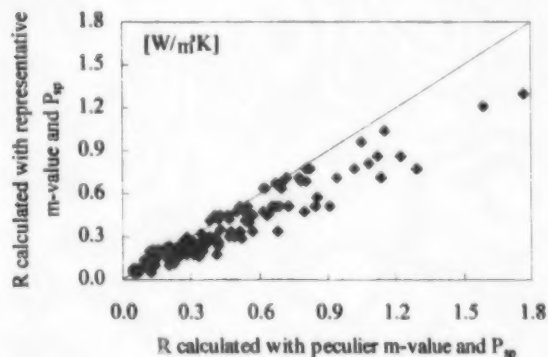


Figure 3 The agreement of  $R$  calculations with peculiar  $m$ -value and  $P_{sp}$  and with representative values

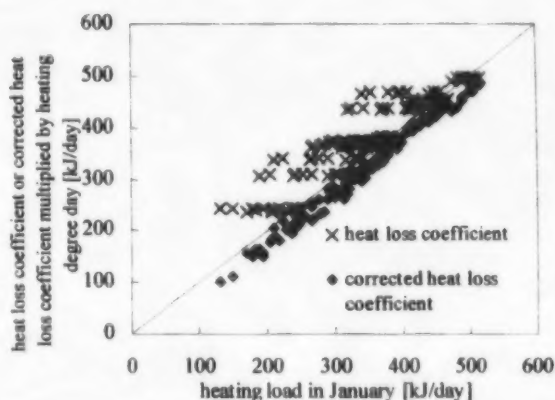


Figure 4 Correlation between corrected heat loss coefficient and heating load in January

#### 6. Relationship between corrected heat loss coefficient and heating load

Figure 4 shows the relationship between heating load for January as simulation result and heat loss, which is estimated as heat loss coefficient or corrected heat loss coefficient multiplied by heating degree day. The corrected heat loss coefficient gives more accurate estimation of heating load than the heat loss coefficient.

#### 7. Application of the corrected heat loss coefficient

The corrected heat loss coefficient is an index which estimates the thermal performance of buildings on the basis of substantial heat loss with consideration of solar heat gain. An application in a design stage of the index is shown as follows.

Figure 5 shows the difference of corrected heat loss coefficient between design examples with and without consideration of solar heat gain. Even if they have the equivalent heat loss

coefficient, a design with smaller corrected heat loss coefficient gives fewer heating load in winter. Comparing designs without and with consideration of solar heat gain ((A) and (B) in Figure 5), the difference of correction factor of solar heat gain effect represents a substantial effect of solar heat gain.

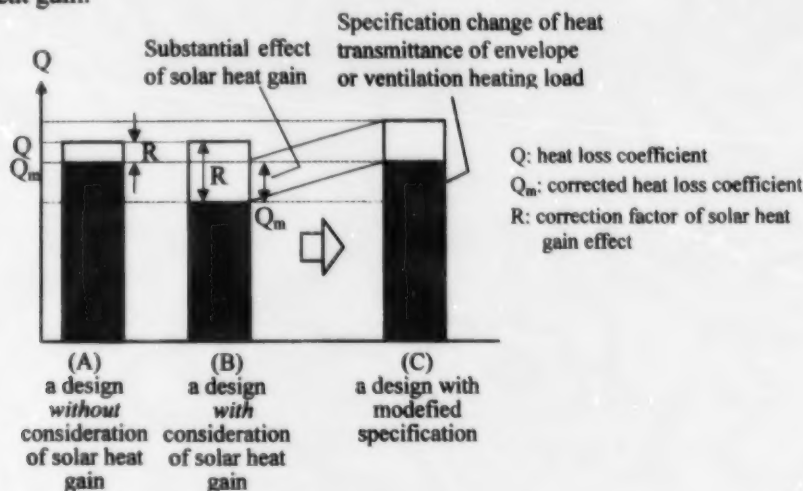


Figure 5 Comparison between  $Q$  and  $Q_m$

Therefore, the substantial thermal performance can be quantified with the corrected heat loss coefficient. In other words, as much as the substantial effect of solar heat gain, heat transmittance of envelope or ventilation heating load can be increased by changing specifications. ((C) in Figure 5)

## 8. Calculation procedure

The calculation procedure for the corrected heat loss coefficient is shown in Figure 6. It is not more complicated than the calculation of the heat loss coefficient, except for the calculation of heat capacity to determine the utilization ratio of solar heat "m" and solar shading coefficient of fixed awning.

### 8-1. Heat capacity

Heat capacity effective for heat storage, needs to be calculated for floor and other parts such as roof and wall. The heat capacity effective for heat storage can exist in roof, floor, exterior walls and interior partitions, and inside of insulation. The effective thickness can be changed for different materials, but it is set according to thermal diffusivity. (Figure 6)

### 8-2. Correction factor of shadings

Openings for solar heat gain is limited to the openings facing within  $\pm 30$  degree from south. Openable shadings are supposed to be opened, such as a blind. In addition, for fixed shadings like eaves, the correction factor can be calculated with the same procedure as annual heating and air conditioning load calculation.

## 9. Examples

In the following, referring to an example of a detached house, corrected heat loss coefficient is calculated for different conditions of region, specification of windows and so on.

### 9-1. Plan

The plan of the example is shown in Figure 7, and it is a two-storied house by reinforced concrete construction, of which total floor area is 144 m<sup>2</sup>.

### 9-2. Conditions of calculation

The geographical location, envelope insulation, opening area of solar heat gain and heat capacity are changed as shown in Table 1. For Case B, Case C and Case D, only one parameter is changed from Case A, which is the basic condition. Case E is the combination of Case B, Case C and Case D.

### 9-3. Comparison of corrected heat loss coefficients

Figure 8 shows the calculation result of corrected heat loss coefficient. Even though heat loss coefficient is equal to each other, corrected heat loss coefficient can be varied for each case.

### 9-4. Relationship between correction factor of solar heat gain and specification

The allowable change (decrease) of insulation by means of solar heat gain is estimated on condition that thermal performance represented by corrected heat loss coefficient is kept constant to Case A.

Figure 9 shows a substantial effect of solar heat gain of Case E comparing to Case A, and upper limit of heat loss coefficient in order to keep the same corrected heat loss coefficient as Case A. For Case E, if double glazing is changed into single glazing, the heat loss coefficient is increased from 2.5 W/m<sup>2</sup>K to 2.93 W/m<sup>2</sup>K, while the corrected heat loss coefficient decreases.

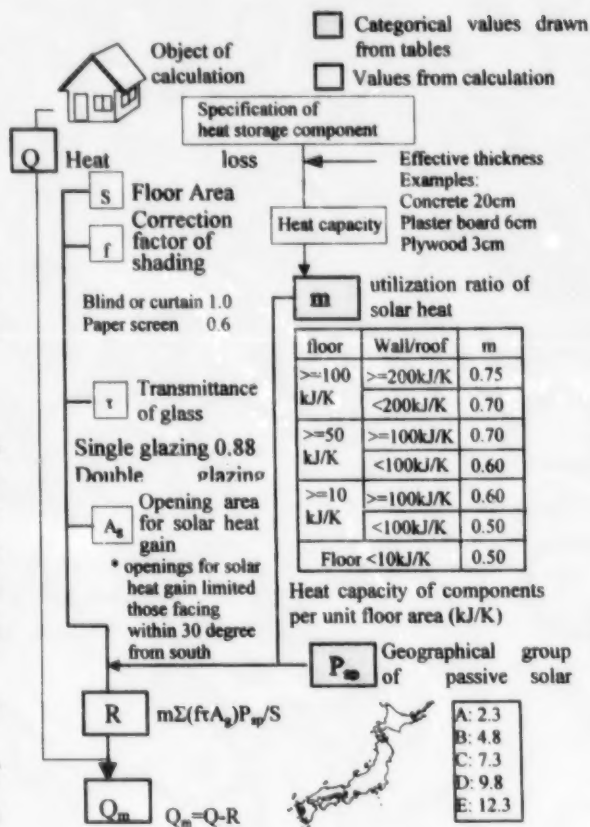


Figure 6 Calculation procedure of corrected heat loss coefficient

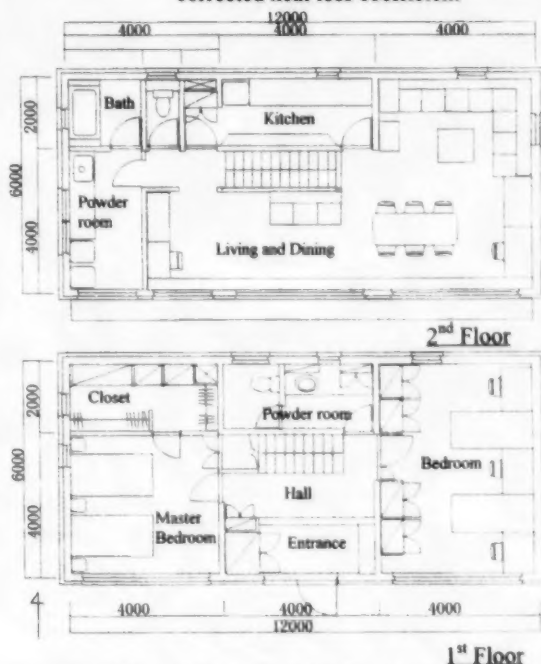


Figure 7 An example for  $Q_m$  calculation

Table 5 Condition for  $Q_m$  calculation

Case	Region*	Heat capacity for floor · other part	Opening area for solar heat gain
(1)	C	9 · 39 kJ/K( $m^2$ ) (inside insulation)	15.0 $m^2$
(2)	E	9 · 39 kJ/K( $m^2$ ) (inside insulation)	15.0 $m^2$
(3)	C	226 · 225 kJ/K( $m^2$ ) (outside insulation)	15.0 $m^2$
(4)	C	9 · 39 kJ/K( $m^2$ ) (inside insulation)	24.2 $m^2$
(5)	E	226 · 225 kJ/K( $m^2$ ) (outside insulation)	24.2 $m^2$

\* See Figure 2. Heat loss coefficient for any case is fixed 2.5 W/m<sup>2</sup>K. Double glazing ( $\tau=0.78$ ) and openable sun shading is supposed.

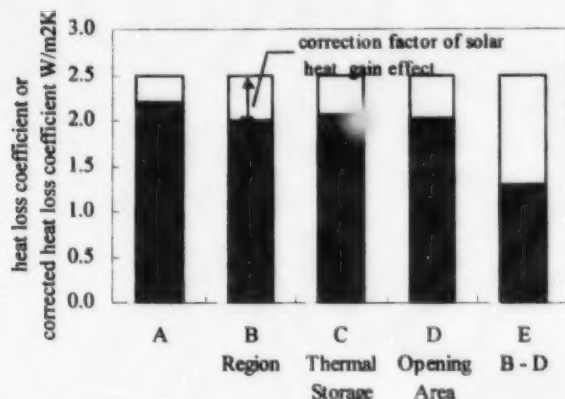


Figure 8 Corrected heat loss coefficient for each case

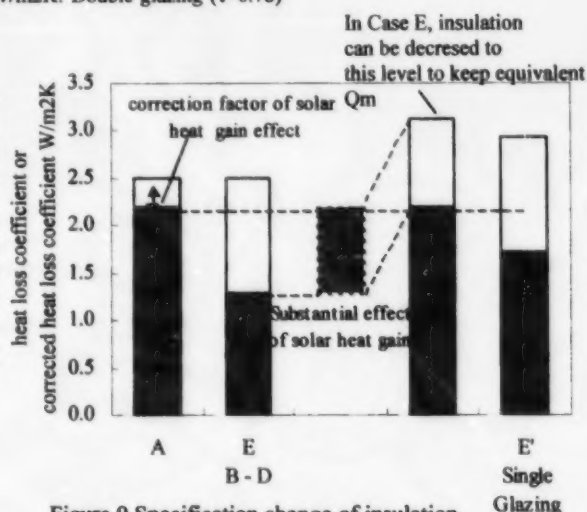


Figure 9 Specification change of insulation from Case E

## 10. Summary

The corrected heat loss coefficient ( $Q_m$ ) was defined with correction factor of solar heat gain, and the simplified tool for the calculation was proposed. The  $Q_m$  is valid for making the estimation of heating energy more accurate, and the utilization of it is recommended for the purpose of easy checking of thermal performance. By means of  $Q_m$ , the design of insulation, solar glazings (windows) and heat storage with the consideration of regional climate can be easier.

## 11. Reference

Yuichiro Kodama and Koji Takemasa: A proposal of thermal performance index with the consideration of solar heat gain, Part1, Architectural Institute of Japan, 1998.9

## Acknowledgement

This paper is made based on the collaboration research with Dr. Koji TAKEMASA (Hiroshima Prefectural College of Health and Welfare) and Ms. Rie IWAMOTO (Japan Environmental Systems Co.,Ltd.).



# 日射取得を考慮した熱性能表示についての一提案

小玉 祐一郎

神戸芸術工科大学

## 1. はじめに

建物の熱特性を表す簡便な指標として「熱損失係数」がある。既報<sup>1)</sup>では、熱損失係数では評価されない日射取得の効果を併せて評価する指標として、「修正熱損失係数」の考え方を提案した。ここでは、実用的な応用を図るため、修正熱損失係数を簡便に求めることを目的として、「日射利用効果補正值」を定義し、それを用いた修正熱損失係数の表示方法の提案及び妥当性の検討を行った。

## 2. 修正熱損失係数の定義

建物の床面積当たり、時間当たりの日射取得効果を「日射利用効果補正值」と定義すると、修正熱損失係数は熱損失係数から日射利用効果補正值を減じたものとして表示される。日射利用効果補正值は、集熱開口部の仕様、太陽熱有効利用率<sup>2)</sup>、パッシブ地域係数<sup>3)</sup>を用いて求められる。ここで、修正熱損失係数をあらためて定義すると次式のようになる。

$$Q_m = Q - R = Q - m \Sigma (f \cdot \tau \cdot A_g) P_{SP} / S$$

ここで、 $Q_m$  : 修正熱損失係数 [ $W/m^2K$ ]  $Q$  : 熱損失係数 [ $W/m^2K$ ]  $R$  : 日射利用効果補正值 [ $W/m^2K$ ]

$m$  : 日射の有効利用率 [-]  $f$  : 日除けの補正係数 [-]  $\tau$  : 集熱開口部の透過率 [-]

$A_g$  : ガラス面積 [ $m^2$ ]  $P_{SP}$  : パッシブ地域係数 [ $W/m^2K$ ]  $S$  : 床面積 [ $m^2$ ]

## 3. 太陽熱有効利用率 $m$ 値の設定

太陽熱有効利用率 $m$ 値は、熱容量の区分によって段階的に設定した。表1に示すような、地域、集熱開口面積、熱容量が異なる住宅モデルを想定して $m$ 値の計算を行った。表2は部位別熱容量の組合せと、それぞれにおける $m$ 値の最小値を示している。 $m$ 値は蓄熱部位の厚さが50mm以上の場合には床の熱容量に依存することがわかる。日射取得の効果を過剰に評するリスクを避けるため、各ケースの最小値により $m$ 値の区分を設定した。 $m$ 値は床と床以外の熱容量に応じて、表3に示すように4段階に設定した。

## 4. パッシブ地域係数 $P_{SP}$ 値の設定

パッシブ地域係数は825地点<sup>4)</sup>毎に過去の15年のアメダスデータ(1月の気温・日射量)を用いて算出し、5段階に $P_{SP}$ 値を区分、設定するものとした。なお、図1に $P_{SP}$ 値の0.5 $W/m^2K$ 刻みの出現頻度を示す。5地点以上の頻度がある $P_{SP}$ 値の範囲は、0から14 $W/m^2K$ であるため、 $P_{SP}$ 値はこの範囲を5等分し、平均値を代表値とした。表4は地域区分と $P_{SP}$ 値を示したものである。なお、市町村別に設定したパッシブ地域区分は図2のようになる。

表1 太陽熱有効利用率 $m$ 値の検討条件

- ① 計算地点  
杓形、札幌、帯広  
酸が湯、八戸、山田  
肘折、仙台、水戸  
赤名、沼田、東京  
鞍岡、枕崎、油津の15地点

② 住宅モデル：120 $m^2$ の住宅を想定  
モデルは単純な正方形の底辺をもつ直方体とした  
開口率：25%  
集熱開口面積：7.5 $m^2$ 、15 $m^2$ 、22.5 $m^2$ の3種類  
(総開口面積は変わらない)  
蓄熱部位の厚さをコンクリート換算で屋根、壁、床それぞれ10mm、50mm、100mm  
(容積比熱は2,085  $kJ/m^3$ として)と変化させ、  
全ての組み合わせた27通り。

③ シミュレーションプログラム：PASSWORK

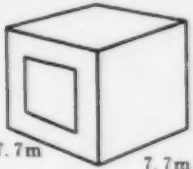


表2 [床]と[その他の部位]の居室床面積当りの熱容量 (kJ/K・m<sup>2</sup>) とm値の最小値

蓄熱厚さ*	床 壁	屋根 10mm			50mm			100mm		
		10mm	50mm	100mm	10mm	50mm	100mm	10mm	50mm	100mm
10mm	床	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	その他	38	147	283	80	189	325	132	241	377
	m値	0.50	0.57	0.61	0.62	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
50mm	床	52	52	52	52	52	52	52	52	52
	その他	38	105	283	79	188	324	132	240	376
	m値	0.65	0.66	0.68	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
100mm	床	104	104	104	104	104	104	104	104	104
	その他	38	95	283	84	188	324	132	241	377
	m値	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

\* 屋根・床・壁の蓄熱部位の厚さ[mm]は、コンクリート換算の値

表3 太陽熱有効利用率m

居室床面積 1 m <sup>2</sup> 換算の熱容量		m値
床	床以外	
100 kJ/K以上	200 kJ/K以上	0.75
	200 kJ/K未満	0.70
50 kJ/K以上	100 kJ/K以上	0.70
	100 kJ/K未満	0.60
10 kJ/K以上	100 kJ/K以上	0.60
	100 kJ/K未満	0.50
10 kJ/K未満		0.50

表4 パッシブ地域係数

	範囲	代表値
い	0 ~ 3.5	2.3
ろ	3.5 ~ 6.0	4.8
は	6.0 ~ 8.5	7.3
に	8.5 ~ 11.0	9.8
ほ	11.0 ~	12.3

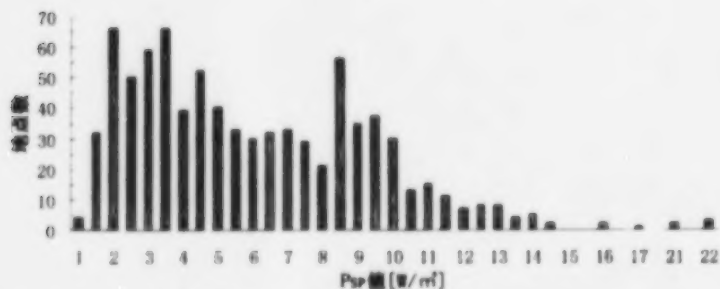


図1 パッシブ地域係数の出現頻度

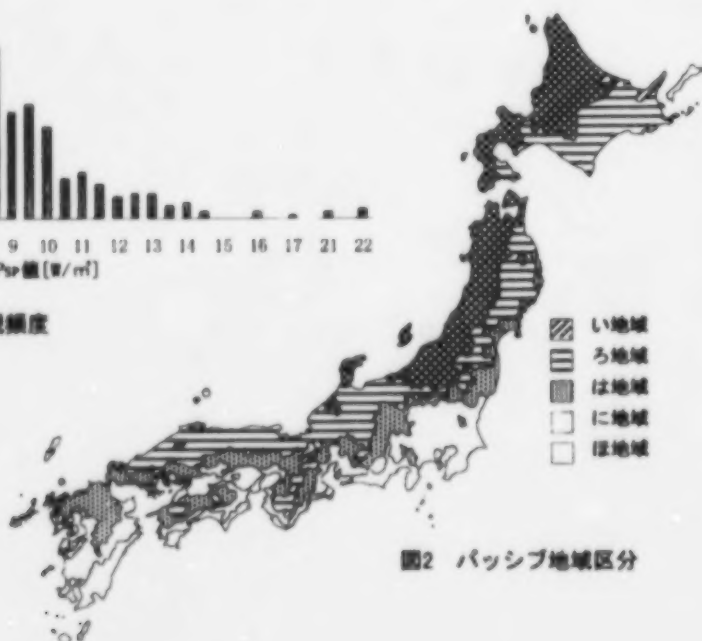


図2 パッシブ地域区分

## 5. $m$ 値と $P_{SP}$ 値の計算値と設定値の違いによる影響

上述した区分設定の妥当性を検討した結果を図3に示す。区分設定する前の $m$ 値、 $P_{SP}$ 値を用いて事例計算した $R$ 値(横軸)と区分設定後の $m$ 値、 $P_{SP}$ 値を用いた $R$ 値(縦軸)の関係をみると、 $R$ 値が小さい場合には、計算値と設定値による $R$ 値の違いはないが、 $R$ 値が大きい場合には、設定値から求めた方が $R$ 値は小さくなっている。簡便法によっても、日射取得による効果を過大に見込むことはないことがわかる。

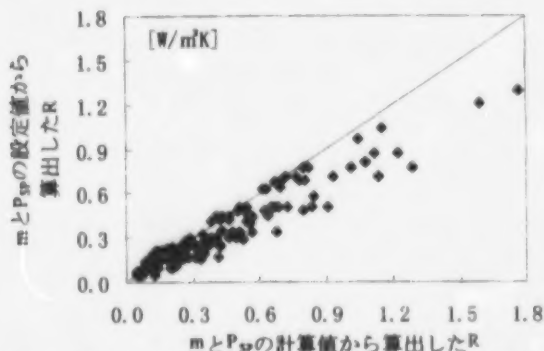


図3  $m$ 値と $P_{SP}$ 値の計算値と設定値による $R$ への影響

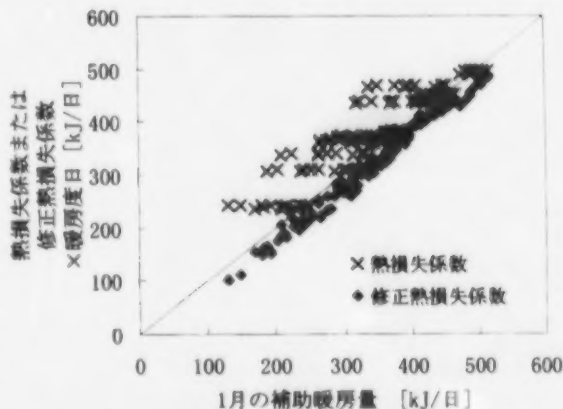


図4 修正熱損失係数の補助暖房量との相関

## 6. 修正熱損失係数と補助暖房量の関係

図4は、熱損失係数または修正熱損失係数に暖房度日に乗じた熱損失量と1月の補助暖房量(シミュレーションによる)の関係を示したものである。この図から、修正熱損失係数の大小が暖房負荷の大小の予測に有効であることがわかる。

## 7. 修正熱損失係数の利用方法

修正熱損失係数は、日射利用効果を考慮した実質的な熱損失をベースに建物の熱的性能を評価する指標である。ここでは、建物の計画段階における活用方法について示す。

図5に日射取得に特に配慮されていない計画事例と、配慮された計画事例の修正熱損失係数の違いを模式的に示した。熱損失係数が同値であっても、修正熱損失係数が小さい方が冬季の補助暖房量を少なくすることができる。日射取得に配慮されていない計画を基準とすると、双方の日射利用効果補正値の

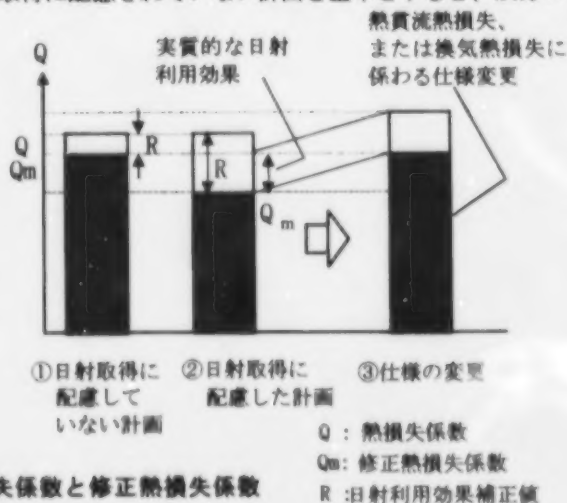


図5 熱損失係数と修正熱損失係数

差分が、日射取得に配慮した計画の実質的な日射取得効果となる。(図5中の①と②)

したがって、実質的な熱性能を問題にする場合には、修正熱損失係数が同等となるように計画すればよい。つまり、日射取得に配慮した計画の実質的な日射利用効果補正值に相当する貫流熱損失または換気熱損失に係わる建物部位の仕様レベルを低くすることができる(図5中の③)。

## 8. 計算手順

修正熱損失係数の計算手順は図6のとおりである。

熱損失係数を算定する以上に煩雑な計算はないが、太陽熱有効利用率 $m$ 値を設定するために必要な蓄熱に有効な熱容量の算定と、固定式の日除けがある場合に補正係数を算定する必要がある。

### 8-1 熱容量の計算方法

床と床以外に分けて蓄熱に有効な熱容量を算出する。蓄熱に有効な熱容量とは、天井、床、壁、間仕切壁などの熱容量を指し、断熱材よりも室内側の部材について計上する。ただし、材料によって蓄熱に有効な厚さが異なるため、簡易的に、温度伝導率によって有効厚さを設定した。(図6)

### 8-2 日除けの補正係数の計算方法

集熱開口部は南面から30°東西にふれた範囲の窓とする。日除けについては、ブラインドのように開閉が可能なものは、日除けを降ろしていないと見なす。また、庇のような固定の日除けの場合は、年間熱負荷係数の計算に用いられる方法によって、補正係数を算出するものとした。

## 9. 計算例

ここでは、具体的な住宅の計画例を用い、地域や開口部の仕様等を変化させた場合の修正熱損失係数の計算を行う。

### 9-1 評価対象住宅

評価対象住宅は、図7の平面をもつ2階建てRC造の戸建住宅(延床面積 $S: 144\text{m}^2$ )である。

### 9-2 検討ケース

地域区分、断熱性能、集熱開口面積、熱容量の違いによって、表1に示す検討ケースを設定した。ケースAを基準として、条件をそれぞれ変更した場合(B~D)とケースB~Dを組み合わせたケースEを設定した。

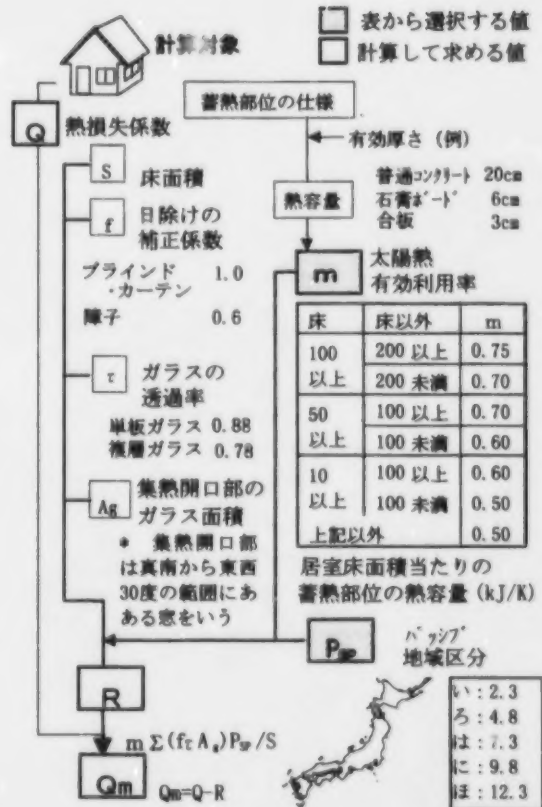


図6 修正熱損失係数の計算手順

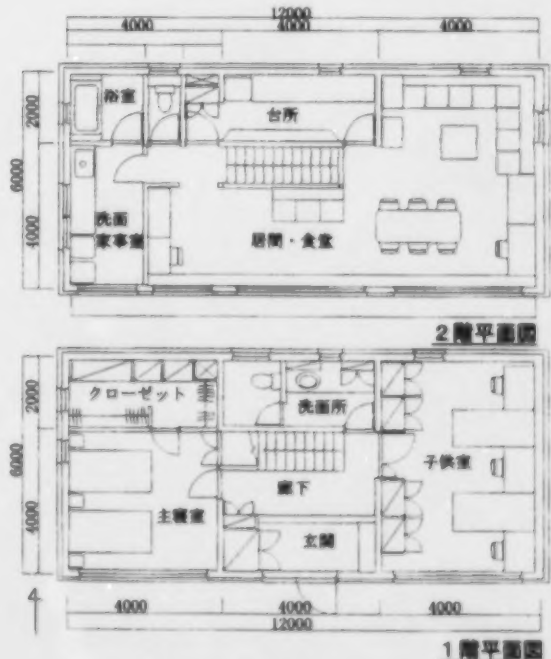


図7 評価対象住宅平面

表5 検討ケース

ケース	地域*	熱容量(床・床以外)	集熱開口面積
A	は	$9 \cdot 39 \text{ kJ/K (m}^2\text{)} (内断熱)$	$15.0 \text{ m}^2$
B	ほ	$9 \cdot 39 \text{ kJ/K (m}^2\text{)} (内断熱)$	$15.0 \text{ m}^2$
C	は	$226 \cdot 225 \text{ kJ/K (m}^2\text{)} (外断熱)$	$15.0 \text{ m}^2$
D	は	$9 \cdot 39 \text{ kJ/K (m}^2\text{)} (内断熱)$	$24.2 \text{ m}^2$
E	ほ	$226 \cdot 225 \text{ kJ/K (m}^2\text{)} (外断熱)$	$24.2 \text{ m}^2$

\* パッシブ地域区分 (前報<sup>1)</sup> 参照)

\* 熱損失係数は何れのケースも  $2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (開口部は複層ガラス・ $\tau:0.78$ )、日除けは開閉可能な日除けを想定

### 9-3 修正熱損失係数の比較

図8は、表5の検討ケースの修正熱損失係数の計算結果である。熱損失係数が同一であっても、修正熱損失係数は各ケース毎に異なることがわかる。

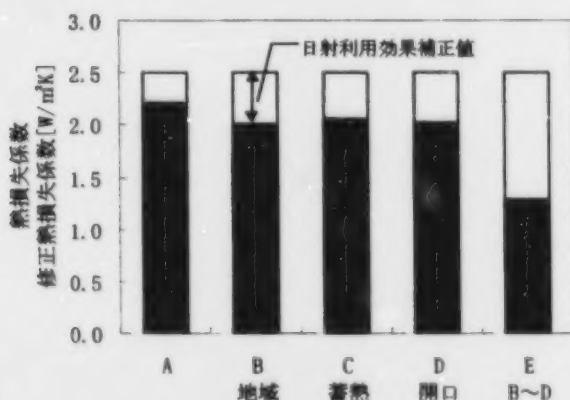


図8 各ケースの修正熱損失係数

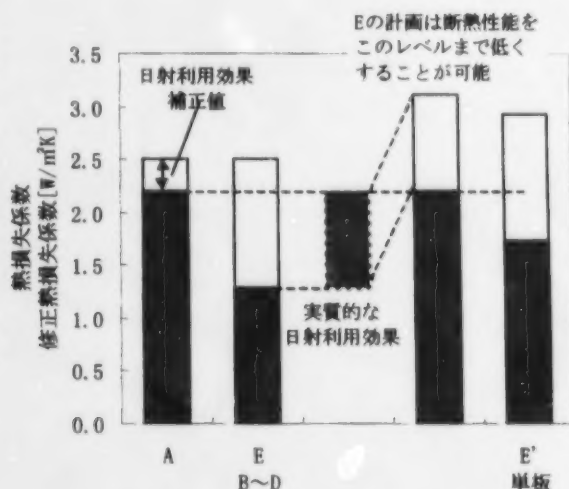


図9 ケースEの断熱仕様変更の度合

### 9-4 日射利用効果補正值と仕様の関係

ここでは、ケースAと同様の熱性能を必要とした場合(修正熱損失係数が同レベル)に、日射取得に配慮した計画によって、断熱仕様をどの程度低くすることができるかについて検討を行った。図9はケースAに対するケースEの実質的な日射利用効果補正值と、ケースAと同等の熱性能を得るために必要な熱損失係数の上限を示している。ケースEの場合は、開口部の仕様を複層ガラスから単板ガラスに変更した場合に熱損失係数は  $2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$  から  $2.93 \text{ W/m}^2\text{K}$  となるが、修正熱損失係数はケースAよりも小さくなっている例である。

### 10. まとめ

本稿では、日射利用効果補正值を用いた修正熱損失係数の定義し、簡易計算手法を提案した。修正熱損失係数は、熱損失係数に比べより正確な補助暖房量の予測に有効であり、簡便に建物の熱的性能を把握する場合に利用されることが期待される。

また、修正熱損失係数の計算方法を示し、修正熱損失係数を用いた評価を行うことで、地域の気候条件を反映させた、断熱性能、開口部、蓄熱に係わる計画を簡易に行う可能性について示した。



## 1.1. 参考文献

- 1) 小玉、武政、日射取得を考慮した熱性能表示についての一提案 その1 修正熱損失係数の考え方、  
その2 太陽熱有効利用率について、日本建築学会大会学術講演梗概集、1998年9月
- 2) 太陽熱有効利用率は日射を考慮した場合としない場合の補助暖房量の差と透過日射量の比で表す。
- 3) パッシブ地域係数は地域の日射量と気温(暖房度日)から算定する気候特性を表す指標
- 4) 844地点のアメダスデータがあるが、沖縄県は暖房負荷が非常に小さいため、修正熱損失係数の検討対象から除いた。

## 謝 辞

本研究は武政孝治(広島県立保健福祉短期大学)及び岩元理恵(日本環境技研株式会社)との共同研究による。

**Session 6／分科会 6**

**Energy Conservation**

省エネルギー



## DESIGNING A HEALTHY HOUSE – AN OVERVIEW

Jeff Armstrong  
President  
DAC International  
3140 Carp Road  
Carp ON, Canada K0A 1L0

### *The Material Selection Process*

House design is by nature an iterative process. Depending on the skill of the designer and the homeowners ability to convey their requirements, several meetings are usually necessary before a successful design - one that strikes a balance between the Client's objectives and their budget - is achieved. Most people use a variety of means to convey their new home requirements to their designer including lists, sketches, magazine pictures, and plan books. Often the issues that first come to mind, and those that homeowners feel strongest about, are the things in their current house that don't work very well - too few bedrooms, not enough storage space, too little natural light, and so on. Similarly, when someone plans a healthy house they may have a particular health problem that they attribute to their present house. By inspecting the house the designer can check for any obvious sources of contamination. A damp, moldy crawl space or the presence of a strong chemical odor can help determine what issues to pay special attention to with the new house.

When indoor air quality is a concern the need to select appropriate materials can complicate the design process considerably. For example, in some cases it may be necessary to do isolated testing of materials with the homeowner as a means of gauging their acceptability – a process that can be frustrating because materials are often rejected for reasons that are not significant in the context of a completed house. For example the rubber gasket around a window might be deemed unacceptable if tested in isolation while the effect on air quality of VOC's from window gaskets is insignificant in a completed house. While isolated material testing may occasionally be the only option, a practical time saving step is to take the homeowner to visit a completed healthy home, preferably one produced by the same design team. This will allow them to experience a similar building in its entirety, speeding up the design process by helping them decide if the same mix of materials will work for them.

### *Site Considerations*

There are many factors that influence a person's choice of where to live - land prices, social status, proximity to work, schools, family, and so on. Often the quality of air, water and soil on the site are overlooked, in part because people tend to view their house as a sanctuary from anything

harmful in the world outside. In fact it is virtually impossible to keep all forms of outdoor contamination from affecting the indoor environment, and so it is wise to consider the quality of the general surroundings and the building site itself, before making a final decision about where to build.

Some factors to consider when assessing the suitability of a healthy house site are:

- General sources of contamination: Power lines, agricultural spraying, vehicle exhaust and industrial pollution are all potential sources of indoor air contamination.
- Specific sources of contamination: Has the site always been residential? It is recommended that an environmental assessment be done to determine whether the soil or groundwater on the site has been contaminated by industrial pollutants or agricultural chemicals. Even former residential sites may be contaminated by lead from paint or pesticides used by former homeowners. Testing should also be done for the presence of Radon - a radioactive soil gas linked to cancer.
- Drainage: Good drainage is critical. Sites prone to ponding water should be re-graded and those subject to seasonal flooding should be avoided. Ground cover materials adjacent to the house should be selected on the basis that they promote good drainage away from the building and don't support excessive organic growth. Suitable surface materials include concrete, paving stones, and washed stone. Dusty gravel, asphalt or rubber paving and bare soil should be avoided.
- Landscaping: The surrounding landscaping should be open and sunlit, with low maintenance requirements. Avoid flowering (pollinating) trees and fragrant shrubs or plants. Also avoid excessive foliage which slows drying and promotes the growth of mold.
- Nearby structures: Wood structures such as decks and fences made from pressure-treated or chemically treated lumber should be avoided. Above-grade decks should be well drained and ventilated below.

### **Choosing a Structural System**

One of the early decisions in the design process is the choice of the structural system. Most low-rise residential buildings in North America and Japan are built of softwood lumber framing on a



poured concrete foundation and while this approach can be made to work for even the most environmentally hypersensitive people, there are several issues to be aware of.

### **The Foundation**

In Japan the most common approach to building house foundations is to pour a reinforced concrete footing, stem wall and floor slab, and treat the space below the wooden floor framing as a vented crawl space. Other approaches include slab-on-grade foundations and, in some areas, full concrete basements. The key with all foundation types is to control moisture, whether bulk moisture from rain, moisture drawn from the ground, or the condensation of moist air on cool surfaces. The presence of excessive humidity anywhere in the structure will promote mold growth and quickly reduce a building's life, and preventing dampness at the foundation level can be the most difficult.

Crawl spaces and basements must be insulated, sealed from the outside and the air within tempered (heated, cooled, de-humidified, etc.) like the rest of the air in the house. This approach will make it possible to control humidity levels and surface temperatures in these spaces so that condensation will not occur. Without condensation, there is no need to spray fungicide on the wood framing above because mold needs a humid environment (>50% RH) to grow. An additional benefit of applying exterior insulation to a concrete foundation is that the concrete mass acts as a "thermal flywheel", storing heat during the warm part of the day resulting in higher comfort levels and lower cooling costs.

To ensure that rainwater is kept out, the floor slab must either be kept above the level of the outside grade, or drainage materials used around the perimeter of the building to channel it away before it contacts the foundation wall. If the soil around the wall is not well drained, the pressure exerted during a heavy rain (hydrostatic pressure) will eventually force water through any small cracks in the wall, or even through the cells of the concrete itself. The tendency of concrete to absorb moisture, known as "capillarity" demands that an impermeable membrane be used to separate soil from concrete anywhere they come in contact.

When the air in the basement or crawl space is the same air circulated through the rest of the house it becomes necessary to consider the presence of contaminants in the concrete. There are three issues to be concerned about:

1. Contaminated aggregate - i.e. Radon, Petroleum;
2. Admixtures - chemicals often added to the concrete to reduce water content, or give it greater freeze/thaw resistance;

3. Form release agents - chemicals (usually oil) sprayed on the forms before the concrete is poured to make them easier to remove, and to ensure a smooth surface finish.

All of these issues should be discussed with the concrete supplier and resolved ahead of time. The aggregate can be tested for the presence of contaminants; admixtures can be left out; and alternatives to form-release oil, such as fragrance-free soap, or lining forms with polyethylene, can be substituted. (Note: The most common reason for using admixtures is to reduce the water content while making the concrete easier to work during pouring. When admixtures are left out, installers tend to add more water to the mix, causing the cement to float to the surface where it forms a fine dust after the concrete has cured. This dust can make its way into the rest of the house, so the pouring of additive-free concrete should be carefully supervised to ensure that water content is controlled. If "dusting" does happen, there are VOC-free concrete sealers that can be applied, but it is far preferable to prevent the problem from occurring in the first place.)

### **The Structural Frame**

Most houses in Japan are framed with softwood lumber (e.g., spruce, pine, fir), yet many environmentally hypersensitive people are bothered by the aromatic terpenes found in softwoods. Several houses for the environmentally hypersensitive in Canada have been successfully framed with kiln-dried spruce, and in the vast majority of cases either 2x4 technology or Zairai construction should be acceptable. The structural frame is sealed away from the occupants by the air/vapour barrier, so only in extreme cases is it necessary to use alternatives to softwood lumber for framing exterior walls or roofs. Where there is a concern about softwoods, interior walls can be framed with light gauge steel studs provided they are washed off-site to remove any oil.

For a floor over a basement or tempered crawlspace the framing lumber and floor sheathing can be more of a problem for hypersensitive individuals because these components are in direct contact with the indoor air. In these extreme cases, steel floor joists, sheathed with construction grade plywood (sealed or enclosed and vented), can be a viable alternative. The use of CCA treated wood for joists or plates should be avoided, borate treated wood is a better choice for any wood that comes in contact with concrete. Any sawn lumber used must be kiln dried and kept dry on site to inhibit mold growth.

Light gauge galvanized steel framing is gaining popularity for residential construction and is a good alternative if the client wants to avoid softwood, however thought must be given to thermal bridging through the steel and the increased potential for condensation it represents. Steel framing is coated with oil to inhibit rust, so it is best to wash off the oil before it is delivered to the site.

Sheathing a steel-framed floor without using either sawn lumber or construction grade plywood can be costly and is unnecessary in most cases. It is possible to use a corrugated metal pan, filled with concrete over steel floor joists, or pre-cast concrete slabs as alternative floor systems. However, care should be taken to ensure that the concrete contains no contaminants such as petroleum in the aggregates or concrete additives (admixtures) that could affect air quality. One appealing feature of a cast-in-place concrete floor is that it can be used as a radiant surface in a hydronic heating system.

Load-bearing brick or block can be used as an alternative to wood or steel platform framing but the added cost of reinforcing for seismic loads can make it cost prohibitive. The primary air quality issue is that the masonry units and the mortar are made without additives requiring close coordination with the masonry manufacturer. Masonry units are very absorbent and susceptible to contamination during transport and while on site. Electric mortar mixers should be used onsite to avoid the risk of petroleum contamination.

### **The Building Envelope**

The comfort, longevity, and energy consumption of any building depends on how well the flow of heat, air and water vapour is controlled, so detailing the building envelope is among the most important aspects of the design process. While a great deal is known about how to keep the heat in and the rain out, much confusion still exists over how to keep water vapor from condensing somewhere within the building envelope where it can promote mold growth and decay.

**The Air Barrier:** The function of an air barrier is to restrict the flow of air between the conditioned space inside the building and the outside. The air barrier can be located at any location in the building assembly provided it is continuous and completely sealed at all joints and penetrations. Prior to covering an air barrier with another material, the building should be tested for air tightness using a blower door so leaks can be found and sealed. Polyethylene sheet, gypsum board, "house wrap", plywood and insulated sheathing can all serve as air barriers. A properly sealed air barrier performs three critical functions:

4. It reduces the amount of water vapor that is transported by air leakage into the building envelope;
5. It seals outdoor contaminants away from the house occupants;
6. It improves the thermal performance of the building

The Vapor Barrier (or Vapour Diffusion Retarder - VDR): In any insulated building - whether in a hot climate or a cold one - a vapour barrier must be placed within the warm third of the assembly (measured in terms of RSI-Value<sup>1</sup>, not distance). In a predominantly hot and humid climate - such as in southern Honshu and Kyushu - this means that the VDR will be within the outside third of the insulated wall. In a cooler climate - northern Honshu and Hokkaido for example - the inside third of the insulated wall. Following this principle will prevent water vapor from diffusing through the materials and condensing within the assembly. A much greater quantity of water vapour is transported by air leakage than by diffusion, so "completely" sealing the VDR is less significant than it is for the air barrier. The most common VDR's are polyethylene sheeting, aluminum foil, and low permeance paints.

Combining Air and Vapor Barriers - the AVB: When care is taken to completely seal a vapour barrier, like polyethylene, it functions as an air barrier as well. In addition to performing the normal air-tightness and vapor control functions, this approach can be useful in sealing contaminants away from the building occupants. In cold climates, for example, a polyethylene AVB, placed immediately behind the drywall, will prevent the insulation and framing materials from contaminating the indoor air.

By applying these airtightness and vapor control principles in the design of the building envelope, there are immediate indoor air quality and thermal comfort benefits to the homeowner and long term benefits in terms of lower energy costs and enhanced durability.

# **Energy Conservation Standards for Residential Buildings Revised for Japanese Next Generation**

**Yuzo Sakamoto**

**The University of Tokyo, Japan**

## **1. Background**

The Japanese government made an overall revision, dated March 30 1999, on energy conservation standards for residential buildings. The revised standards are generally termed "Next Generation Energy Conservation Standards (NGECS)". In the backdrop of this government's revision, can be seen Japan's numerical targets for CO<sub>2</sub> reduction (reduction of six percent from 1990 levels by 2010) that were agreed to at the COP3, the Third Conference of Parties to the U.N. Framework on Climate Change held in Kyoto in December 1997. To achieve those targets, the government is proposing and implementing many different kinds of remedies for energy conservation, and the formulation and announcement of the NGECS is one of that series of remedies. It is estimated that amount of CO<sub>2</sub> emissions from the housing sector that will be reduced by the NGECS, etc. is equivalent to 2.8 million tons in carbon conversion.

## **2. Features and criteria in the NGECS**

The Japanese government announced the first energy conservation standards for residential buildings in 1980. Those standards were revised in 1992, and again in 1999, but the major method for conserving energy in respective standards has been thermal insulation consistently. In addition to insulation, the 1992's revision promoted air-tightness in colder climates and summer sun shade in warmer ones as the methods for conserving energy.

The most important point of the 1999 standards, namely the NGECS, is to raise the level of criterion for energy performance highly; reducing winter heat loss by enhancing building component insulation and air-tightness; and diminishing summer solar heat gain by strengthening sun shade. Next the NGECS points out that ventilation system design for a whole building is needed as well as air-tightness, and that vapor condensation must be prevented inside walls and roofs besides. Moreover, special cautionary items that are peculiar to Japan are shown, such as warnings on open fire heaters and recommendations for cross-ventilation during summertime.

The NGECS also provides performance-oriented regulations and greater flexibility for evaluation, as seen in the assigning of criteria for annual thermal loads and in the provision of calculation method by which passive solar houses can be evaluated. The map of climatic regions has been revised from one bounded with prefectures to finer one with municipalities.

Table 1 summarizes the above, comparing the NGECS with the previous standards. Fig.1 shows the new map of climatic regions. Fig.2 compares Japanese standards in heat loss coefficient of envelope with those of other developed countries. In this comparison, we can see that the NGECS is helping Japan to catch up the developed countries, although Japan has ever been behind them.



**Table 1 Changes in energy conservation standards for residential buildings**

name of standards and region item	1980 standards						1992 standards						1999 standards (NGECS)					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1. criterion for annual heating and cooling loads [MJ/yr]	no announcement						no announcement						390	390	460	460	350	290
2. criterion for heat loss coefficient [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	3.26	4.19	5.12	5.58	7.91	--	1.74	2.67	3.14	3.95	4.30	6.40	1.6	1.9	2.4	2.7	2.7	3.7
3. criterion for equivalent leakage area [ $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ]	comment on air-tightness in the guidelines for design and construction (D&C)						5.0	5.0	--	--	--	--	2.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0
4. criterion for solar heat gain coefficient in summer [-]	recommendation of louvers and eaves in the guidelines for D&C						--	--	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06
5. utilization of solar heat gain in winter	described in the guidelines for D&C						described in the guidelines for D&C						notification of the method for calculating effect of solar heat gain					
6. preventing moisture condensation in walls	described in the guidelines for D&C						described in the guidelines for D&C						clarified in the criteria for building owners' judgment (BOJ)					
7. necessity for ventilation systems	no announcement						described in the guidelines for D&C						clarified in the criteria for BOJ					
8. preventing contamination by exhaust gas out of open fire heaters	no announcement						described in the guidelines for D&C						clarified in the criteria for BOJ					
9. recommendation of cross-ventilation in summer	described in the guidelines for D&C						described in the guidelines for D&C						clarified in the criteria for BOJ					
10. map of regional divisions	bounded with prefectures						Same as the 1980 standards						bounded with municipalities					

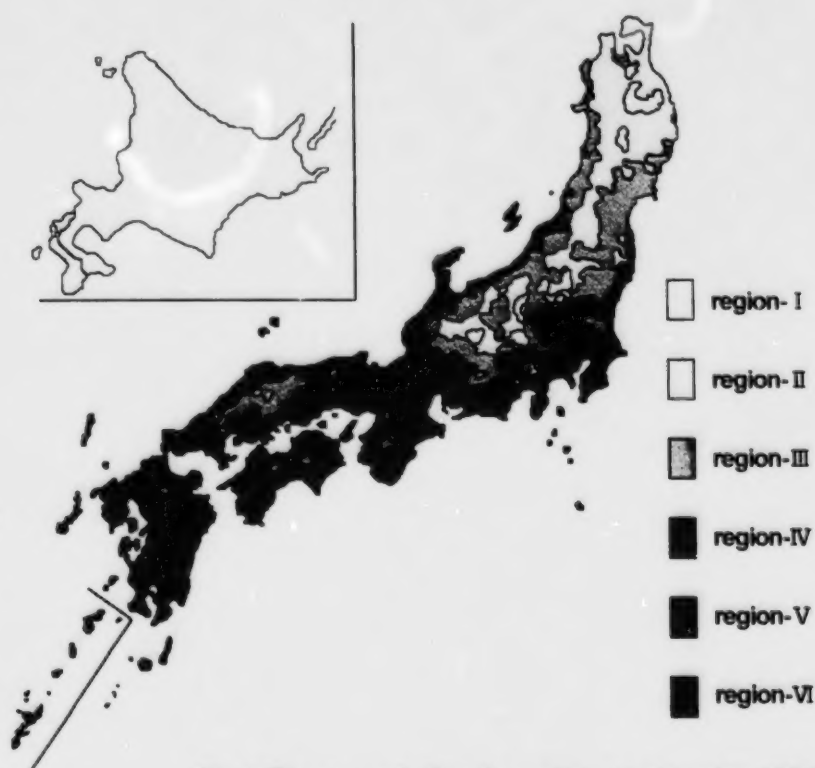


Fig.1 The map of climatic regions ( revised in 1999)

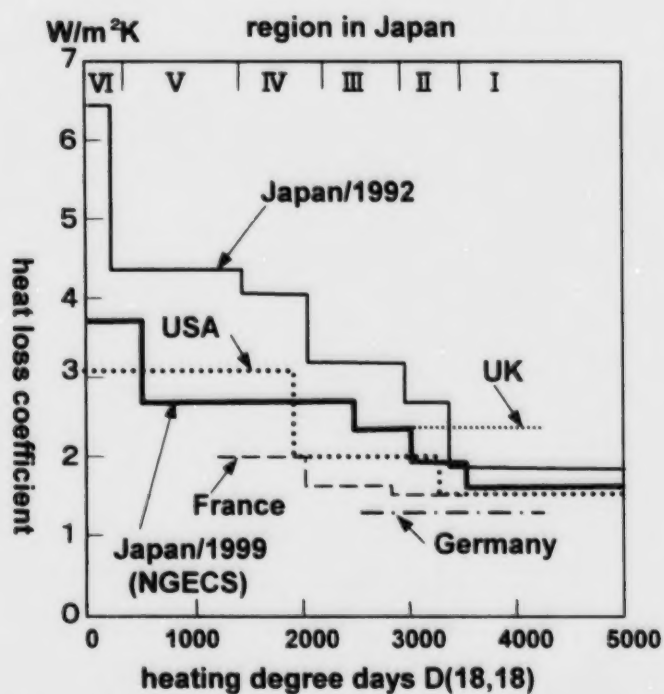


Fig.2 Comparison of energy conservation standards for thermal insulation between Japan and some developed countries

### 3. Composition of the NGECS and its effects

In the same way as the previous standards, the NGECS is composed of two different notifications of the Ministers: the criteria for building owners' judgment and the guidelines for design and construction. The former gives building owners the level of energy performance to be the target, while the latter indicates methods for achieving that level. The Judgment as to whether individual buildings conform to the NGECS is made by the application of either of the two notifications. Fig.3 illustrates the composition of the NGECS.

The NGECS will have a major effect on the housing industry of Japan in the following two points. One is the requirement for enough insulated envelope to reduce heating load or to raise winter room temperature, even in densely populated regions (from Kanto to Kyushu) where climate is comparatively warm. Another is to require proper air-tightness in envelope. Air-tightness does not only reduce thermal loads caused by air leakage, but it is also a good indicator showing whether construction for thermal insulation is rigid or loose in wooden buildings. Generally speaking, if a building has high air-tightness, we may judge that it has no problem in effect of insulation and in prevention of vapor condensation. If not, there is a high probability that insulation is ineffective in spite of insulation materials and/or that condensation strikes the insides of walls and roofs. So air-tightness is needed in the NGECS in order to ensure the effect of insulation materials and the prevention of condensation inside walls actually. In warmer regions of Japan, however, few people have the above knowledge relating to air-tightness.

We estimate from Fig. 4 that the buildings which conform to the NGECS have 20~40 percent lower annual heating loads than ones built according to the 1992 standards in regions- II, -III, -IV and -V, whereas 10 percent lower loads in region- I, a colder region. This regional difference in reduction rate of annual heating loads is reasonable from viewpoint of the total energy conservation of Japan, because most of populous areas are included in region-IV, where 70% in the population of Japan exists. Total reduction amount in region-IV is estimated to be larger, even if reduction amount per family is smaller owing to its warmer climate. Thus strict energy saving in warmer regions leads to obvious saving in the whole of Japan. However, people living in these regions have little interest in insulation and air-tightness because climates in winter are moderate. Therefore the NGECS will probably force them to change their minds about housing design. As the concept of air-tightness, in particular, has never existed in Japanese traditional wooden buildings, builders who continue to work only in the traditional construction manner may face some difficulties or confusions. Fig.4 also shows that the NGECS is located in lower level than the R2000 house's standards. R2000 houses will be still the highest targets in Japan, even though the NGECS will be disseminated in the future.

On the other hand, it is also predicted that the NGECS will give a little prosperity to the housing industry of the country because of bringing about new demand, such as shown below. The demand for double glazing and insulated window frame will increase much more from here, since the standard specifications in the NGECS, that is, the guidelines for design and construction, require double glazing for window almost throughout the country. The demand for ventilation system and its related goods will probably increase, too.

# Criteria for Building Owner's Judgment

(targets on annual heating and cooling loads)

choose either

## Criteria for reducing annual heating and cooling loads

①

① criterion for annual heating and cooling loads

choose either

criterion for heat loss coefficient  
 • correcting criterion in small houses  
 • correcting criterion in passive solar houses  
 criterion for solar heat gain coefficient in summer

②

② criterion for equivalent leakage area  
 • relaxing criterion in passive solar houses

## Important notes accompanying reduction of thermal loads

- ① preventing moisture condensation in walls
- ② necessity for ventilation systems
- ③ preventing contamination by exhaust gas out of open fire heaters
- ④ necessity for energy-efficient HVAC systems
- ⑤ recommendation of cross-ventilation in summer

# Guidelines for Design and Construction

(ways of hitting the targets)

## Guidelines for thermal insulation, air-tightness, condensation prevention and sun shade in wall-type components

①

① criterion for U-value

choose either

criterion for thermal resistance

② guidelines for insulation construction (vapor barrier, wind barrier, ventilated air space, leakage stopper, additional insulation)

③ guidelines for construction ensuring air-tightness

## Guidelines for thermal insulation, air-tightness and sun shade in windows and doors

①

① criterion for U-value

②

② criterion for solar heat transmissivity

③

③ criterion for air-tightness

## Supplementary guidelines and important notes

- ① guidelines for ventilation system planning
- ② notes for heating and hot water equipment
- ③ notes for cross-ventilation
- ④ notes for users' manuals

Fig.3 Composition of the Next Generation Energy Conservation Standards (NGECS)

#### 4. Usage and dissemination of the NGECS

The NGECS is already used as criteria for energy-efficient residential buildings. The Government Housing Loan Corporation has just started issuing a new type of loans on this April, in which people can borrow money more by 2.5 million yen for residential buildings which conform to the NGECS than for ones which do not. This is expected to be an additional stimulus to the greater popularity of the NGECS. Furthermore the NGECS is to be applied to criteria for the highest energy-efficient buildings in the housing rating system, which will be established on the basis of the new law for consumers' benefit and which will be executed in summer of 2000. Thus those governmental backups will help consumers more aware of the NGECS.

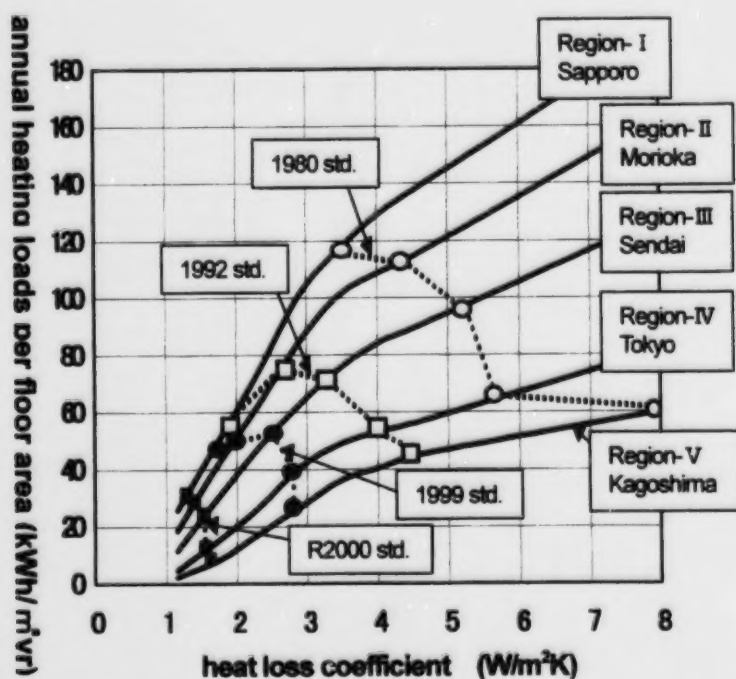


Fig.4 Relation between heat loss coefficient and annual heating loads (in a detached house, under intermittent and part heating style)



# 住宅の次世代省エネルギー基準の特徴と効果

坂本雄三（東京大学）

## 1. 背景

日本政府は1999年3月30日付けで住宅の省エネルギー基準を全面的に改定した。この新たな基準は、一般には「次世代省エネルギー基準」と云われている（それゆえ、ここでも以下「次世代基準」と呼ぶことにする）。政府が次世代基準を告示した背景には、1997年の12月に京都で開かれたCOP3（地球温暖化防止条約の第3回締約国会議）において同意したCO<sub>2</sub>削減に関する日本の数値目標（2010年までに1990年レベルより6%削減を達成）があげられる。政府はこの目標を達成するために、様々な省エネルギー対策を立案・実施しつつあり、その一連の対策の一つとして次世代基準を策定・告示したわけである。今回の次世代基準などの諸対策によって、住宅部門では炭素換算で約280万トンのCO<sub>2</sub>削減を見込んでいる。

## 2. 基準の特徴と基準値

日本政府の住宅用省エネ基準は1980年に初めて告示され、1992年に改定され、そして今回（1999年）再度改定されたわけであるが、その中で常に主役をつとめてきた省エネ手法は「断熱」である。1992年の改定では、この断熱に加えて、寒冷地では「気密」が、温暖地では「夏期の日射遮蔽」が、省エネ手法の仲間入りを果たした。

今回の改定では、もちろん、このような既存の省エネ手法（断熱と気密による冬期の熱損失の削減、および、日射遮蔽による夏期の日射取得の削減）に関する基準値が強化されたり、適用地域が拡大された。また、年間暖冷房負荷の基準値の設定や、パッシブソーラー住宅に対する評価法の提示など、基準の性能規定化や柔軟化も行われた。さらに、壁体の防露性や計画換気について必要性が明示されたり、開放型暖房器具に対する警鐘や夏期通風の推奨などの日本独特の留意事項も盛り込まれている。

地域区分も都道府県単位の大雑把なものから市町村単位の精緻なものに改められている。以上を表1にまとめて示す。表1では、次世代基準と過去の基準の比較もなされている。図1は、新しい地域区分図である。図2は、住宅の断熱性に関して世界各国の基準値と日本のそれとを比較したものであり、日本は次世代基準によって遅まきながら世界に追いつくことが分かる。

## 3. 基準の構成と影響

次世代基準も、過去の基準と同様、「建築主の判断基準」と「設計・施工指針」の二つの告示で構成されている。前者は目標とすべき性能を、後者は目標を達成するための手段を示している。個々の住宅が基準に到達しているか否かの判定は、両者のうちのどちらかを適用して行うことになっている。次世代基準の構成図を図3に示す。

次世代基準は以下の二点において日本の住宅界に大きな影響を与えると思われる。一点目は、比較的温暖な気候である日本の人口稠密地帯（関東から九州まで）においても、暖房負荷削減と冬期室温の向上のためにかなり本格的な断熱性を要求している点である。そして、もう一点は、外皮に然るべき気密性も要求している点である。気密性は、漏気を減じることで熱負荷を削減するばかりでなく、木造住宅に

**Table 1 Changes in energy conservation standards for residential buildings**

item	1980 standards						1992 standards						1999 standards (NGECS)					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
1. criterion for annual heating and cooling loads [MJ/yr]	no announcement						no announcement						390	390	460	460	350	290
2. criterion for heat loss coefficient [W/m <sup>2</sup> K]	3.26	4.19	5.12	5.58	7.91	--	1.74	2.67	3.14	3.95	4.30	6.40	1.6	1.9	2.4	2.7	2.7	3.7
3. criterion for equivalent leakage area [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	comment on air-tightness in the guidelines for design and construction (D&C)						5.0	5.0	--	--	--	--	2.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0
4. criterion for solar heat gain coefficient in summer [-]	recommendation of louvers and eaves in the guidelines for D&C						--	--	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08
5. utilization of solar heat gain in winter	described in the guidelines for D&C						described in the guidelines for D&C						notification of the method for calculating effect of solar heat gain					
6. preventing moisture condensation in walls	described in the guidelines for D&C						described in the guidelines for D&C						clarified in the criteria for building owners' judgment (BOJ)					
7. necessity for ventilation systems	no announcement						described in the guidelines for D&C						clarified in the criteria for BOJ					
8. preventing contamination by exhaust gas out of open fire heaters	no announcement						described in the guidelines for D&C						clarified in the criteria for BOJ					
9. recommendation of cross-ventilation in summer	described in the guidelines for D&C						described in the guidelines for D&C						clarified in the criteria for BOJ					
10. map of regional divisions	bounded with prefectures						Same as the 1980 standards						bounded with municipalities					

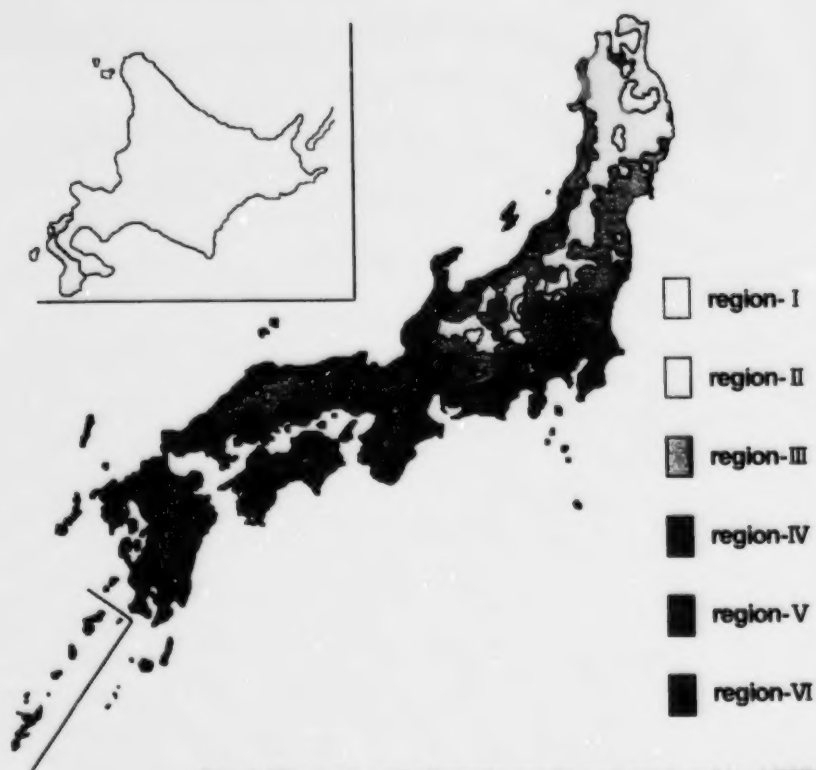


Fig.1 The map of climatic regions ( revised in 1999)

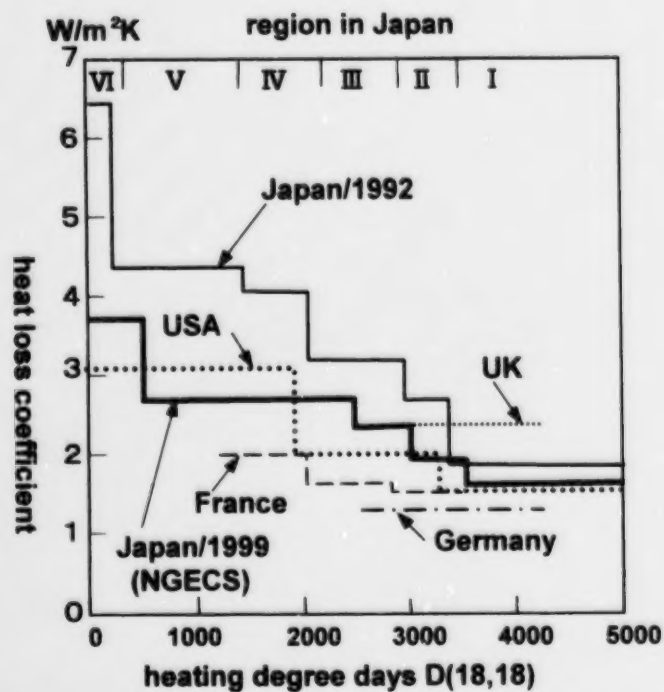


Fig.2 Comparison of energy conservation standards for thermal insulation between Japan and some developed countries

# Criteria for Building Owner's Judgment

(targets on annual heating and cooling loads)

choose either

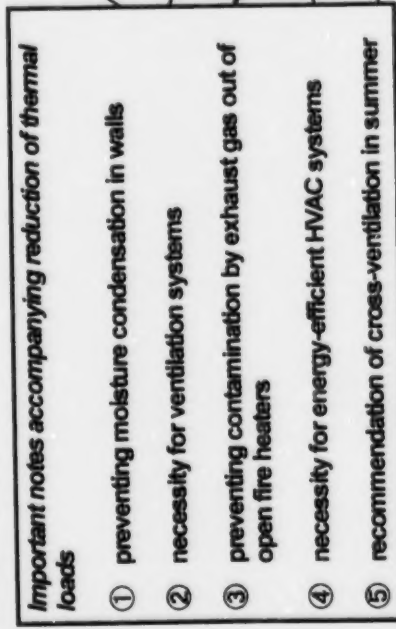
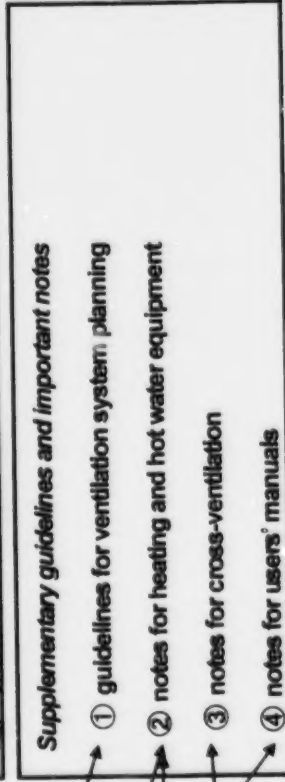
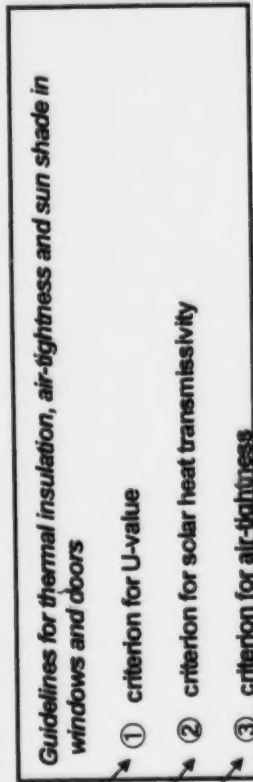
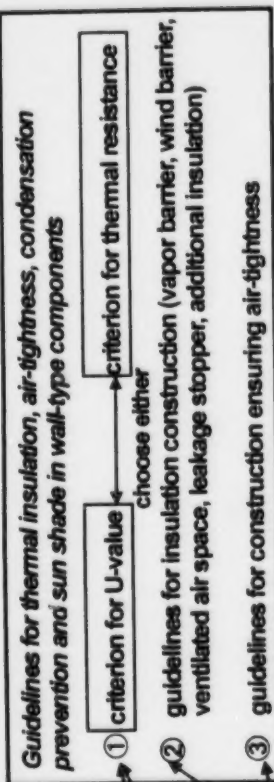
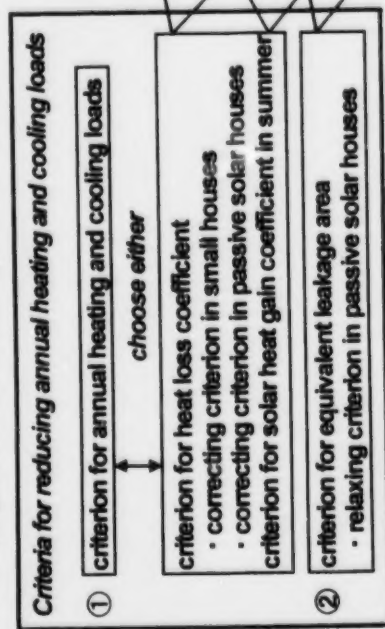


Fig.3 Composition of the Next Generation Energy Conservation Standards (NGECS)

においては断熱施工が正しく行われているかどうかを示す指標にもなりえる。高い気密性を有する建物であれば、断熱施工に起因する結露や断熱不良といった問題は存在しないと判断できるのである。それゆえ、次世代基準においては、気密性は、実際の建物における断熱材の効果や内部結露の防止措置を担保するために必要とされているのである。しかしながら、日本の温暖においては、気密性に関するこのような知識が十分理解されているわけではない。

次世代基準を適用した住宅は、図4から推測できるように、92年基準の住宅に比べて年間の暖房負荷は、寒冷地であるI地域を除いて、20～40%少ない。これは、人口稠密地帯においても厳格に省エネを行うことによって日本全体の省エネ量を顕著なものにするということが意図されているためである。しかしながら、この地帯の人々は、比較的温暖な気候のために、断熱・気密化などに対してはこれまで無頓着であり、今回の次世代基準によって住宅設計における発想の転換をせまられることになるだろう。とくに、気密化の方は日本の伝統的な木造建築においてはその概念すら存在しないので、伝統的な工法を継承してきたビルダーは困難や混乱に直面するかもしれない。図4から、次世代基準はR-2000住宅の基準よりは低いレベルであることを理解できる。したがって、次世代基準がたとえ普及しようが、R-2000住宅が日本における最高レベルの目標となろう。

他方、次世代基準は、以下のような新しい需要を喚起するので、日本の住宅業界に多少の好影響を与えるかもしれない。例えば、次世代基準を満たす標準仕様（設計・施工指針に示されている仕様）では、窓はほぼ全国で複層ガラスを採用しなければならないことになっているので、複層ガラスや断熱サッシに対する需要が増えることは必至である。換気システムやその関連部品においても同様に、需要が増大するものと思われる。

#### 4. 基準の運用と普及

次世代基準は、すでに省エネルギー住宅のための判断基準として運用されている。住宅金融公庫では、次世代基準を満たす住宅に250万円の割り増し融資を行うことを4月から開始しており、次世代基準の普及の一助になるにちがいない。また、来年の夏からスタートする政府の住宅性能表示においても、次世代基準に適合した住宅には最高ランクの省エネルギー性が付与されるので、この基準は消費者にも徐々に意識されるものと予想される。



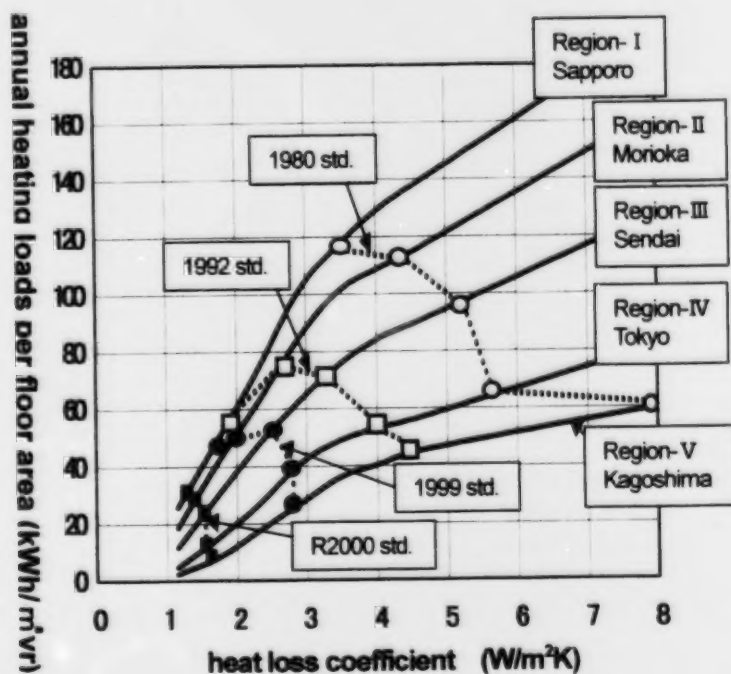


Fig.4 Relation between heat loss coefficient and annual heating loads (in a detached house, under intermittent and part heating style)

## **The EnerGuide for Houses Quality Assurance Program**

Barbara Mullally Pauly, John Gusdorf  
Natural Resource Canada  
580 Booth Street  
Ottawa ON Canada K1A 0E4

### **Introduction**

The EnerGuide for Houses (EGH) Program is a major National Resources Canada (NRCan) initiative which is intended to improve the energy efficiency of Canadian houses. EGH will provide consumers with a simple way to compare the energy efficiency of low-rise houses, and to assess the impact of renovations on the energy use of an existing house. Its intent is to encourage energy efficient improvements for new and existing dwellings, while maintaining or improving indoor air quality and structural integrity. Reducing energy use will also reduce greenhouse gas emissions, and EGH is an important part of Canada's commitment to reduce global warming.

Participation in EGH is strictly voluntary. When a house is enrolled, a trained energy efficiency evaluator visits the house to gather data on the building envelope's airtightness and thermal resistance, the heating system's characteristics, the domestic hot water system, the ventilation system, including exhaust fans, and renewable energy equipment that is permanently installed and operational.

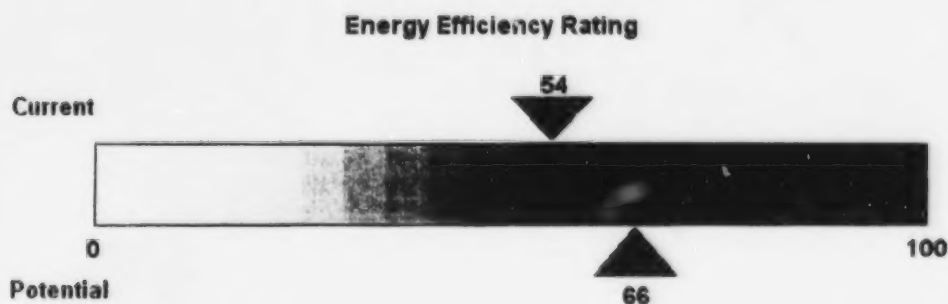
This data is entered into a specially designed computer program which gives the house an EnerGuide Rating between zero and one-hundred, and determines the amount of energy being lost through each component (ceiling, walls, windows, ventilation, etc.). The evaluator uses this information to recommend a set of renovations that would reduce the house's energy consumption while maintaining or improving indoor air quality. These recommendations are then entered into the program which determines how much energy and costs could be saved, and the EnerGuide Rating improvements. The occupants receive a report describing all of the above, and a label showing the house's current rating. After renovations are completed, the house can be reevaluated and a new label issued that documents the effectiveness of the energy efficiency upgrades. Figure 1 is taken from a typical report, and shows the current and potential ratings of the house, along with an explanation of the rating scale.

EGH is based on the principle of a "house as a system," the same foundation that underlies the R-2000 Program. This principle recognizes that a change made to one component of a house can affect other components and that the comfort, health and safety of occupants, as well as the long-term integrity of the structure, must be primary considerations in housing construction and renovation.

EnerGuide for Houses will:

- Raise consumer awareness about the benefits of energy efficiency.

- Identify and prioritize energy efficiency upgrades.
- Serve as a marketing tool for promoting energy efficiency upgrades and enhance the credibility and professionalism of the renovation industry.
- Simulate continued growth in the home renovation and construction industries and increase demand for services and new energy-efficient products.
- Provide financial institutions with a recognized and objective rating of a home's annual energy consumption and with a way of recognizing investments in energy efficiency.



A 0 on the scale represents an uncomfortable house that has major air leakage, no insulation and extremely high energy consumption. At the other end of the scale, 100 represents a house that is very well insulated, airtight, yet well ventilated, and that requires no purchased energy.

<u>Typical Rating</u>	<u>House Characteristics</u>
0 to 50	Old house not upgraded
51 to 65	Upgraded old house
66 to 75	More energy efficient upgraded old house or typical new house
76 to 82	Energy efficient new house
83 to 90	Highly energy efficient new house
91 to 100	Approaching zero purchased energy house

Figure 1. The EnerGuide Rating Scale as it appears in the EnerGuide Report to the Homeowner.

Over 5,000 houses across Canada have received EnerGuide Ratings and recommendations, and over 400 additional houses are enrolled each month. Figure 2 shows average EnerGuide Ratings for 912 houses in Ontario by their dates of construction. The base case (current) ratings show a strong trend towards higher ratings for newer houses. The recommended upgrades would bring existing houses close to new house efficiency levels. NRCAN studies have shown that R-2000 houses would have an average EnerGuide Rating of 80, while non-R-2000 houses built since 1990 would have an average rating of 73.

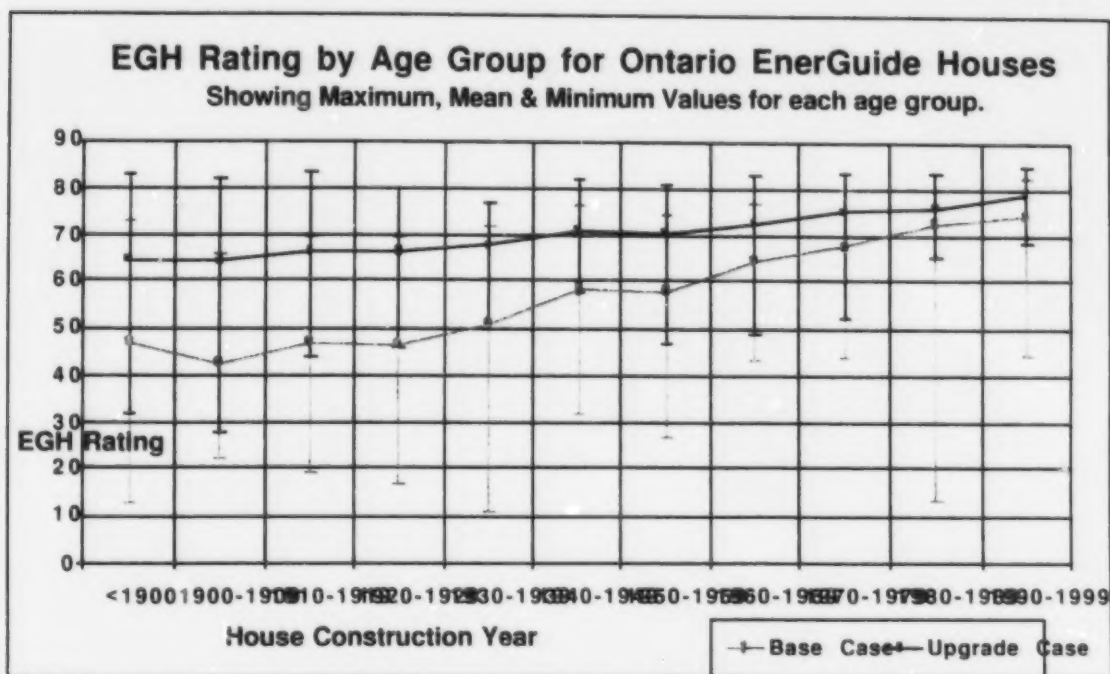


Figure 2. Average EnerGuide Ratings for 912 Houses in Ontario.

### The EnerGuide Quality Assurance Program

In order to ensure the integrity and accuracy of the EGH Program, NRCan has defined two tiers of quality assurance (QA). The first tier is performed by *delivery agents*, who ensure that their *energy efficiency evaluators* have the necessary skills and training, and that they are performing evaluations in a courteous, consistent and accurate manner. A delivery agent is an organization which has a contractual agreement and licence with NRCan to perform EGH evaluations in a particular area. An energy efficiency evaluator is an individual who is certified to perform EGH evaluations. Under the second tier, NRCan has contracts with *Quality Assurance Evaluators* (QAEs) who perform QA on the delivery agents.

The delivery agents must ensure that prospective energy efficiency evaluators have knowledge and skills in the areas of building construction practices, building materials, and building science, including the principles of the "houses as a system." To become certified, a candidate energy evaluator must perform a minimum of two supervised evaluations and one solo evaluation.

EnerGuide delivery agents must perform QA reviews on each of their evaluators. QA should be performed on a randomly selected 20% of the first 20 houses rated by each evaluator, and a randomly selected 5% of houses rated thereafter. Aspects to be covered by these QA reviews include: Evaluator's Profile, data collection and input, recommending appropriate upgrades, and administrative procedures. If QA results are unsatisfactory (i.e., more than 10% of

requirements are not met), immediate steps must be taken to ensure that problems do not recur. Remedial actions may include temporary or permanent decertification of evaluators for reasons such as fraudulent or deliberate failures, or failure to remedy problems identified by QA.

Delivery agents must check customer satisfaction by surveying a representative sample of homeowners. Determining customer satisfaction may include queries about the courtesy of the energy evaluator, and the quality and appropriateness of upgrade recommendations. Follow-up should be made where customers mention that they would like to implement energy efficiency improvements.

The second tier of quality assurance is the NRCan QA program which consists of reviews of the delivery agents by the Quality Assurance Evaluators (QAEs). This program consists of four progressive levels.

Level 1 QA is the homeowner survey which determines the level of satisfaction of homeowners with the energy evaluators and evaluation. QAEs will conduct telephone surveys of 10% of a delivery agent's first 50 files within the first three months of the delivery agent's activity, and 5% of the agent's files thereafter. At least one file for each of the agent's evaluators must be surveyed. A complaint level of more than 10% is considered unacceptable.

Level 2 QA, file assessment and trend analysis, is performed on a randomly selected 5% of the files of energy evaluators, or as a result of Level 1 QA findings. Level 2 QA consists of a review of the data collected by the energy evaluator, the EGH report, and the software file to determine the consistency between the data collected and the report and recommendations. Data on airtightness and insulation levels will be compared with those of other houses of the same region and age group, and with energy bills, to ensure that they are reasonable. The QAE should also perform a trend analysis on a randomly selected five files per year for each energy evaluator to determine the integrity of the data and recommendations. For example, repeated sets of recommendations may indicate that the evaluator is using a "standard" set rather than basing them on the characteristics of each house. If problems are found, the QAE will report them to the delivery agent and to NRCan.

Level 3 QA is a check on the accuracy of data input to the EnerGuide software, and of the energy evaluator's understanding of the software. The QAE will review 2% of the delivery agent's files, including at least two files per energy evaluator per year. For each file, the QAE will create a new file, enter the data collected by the energy evaluator and perform an energy analysis. If the energy consumption from the two runs are within two percent, the energy evaluator will have satisfied data input QA requirements. If not, the QAE will attempt to determine the reason(s) for the difference, alert the delivery agent to take immediate remedial action, and perform Level 3 QA on the next three files produced by the evaluator.

Level 4 QA is an on-site evaluation which the QAE will perform on one randomly selected house for each evaluator once a year. The QAE accompanies the evaluator to a house, gathers a separate set of on-site data, and creates a separate file that will be used to produce an energy consumption figure. The energy consumption figures produced by the QAE and by the evaluator must be within 5% of each other. If they are not, the QAE check the energy evaluator's



file. The QAE will also determine whether the evaluator follows on-site procedures. If there are problems or inconsistencies with any aspect of the on-site evaluation, the QAE will alert the delivery agent and may inform the energy evaluator directly on-site to take immediate remedial action. Subsequently, the QAE will perform a Level 1, 2, 3 or 4 QA on the next three energy evaluations performed by the evaluator in question to ensure that the problems have been addressed.

The NRCan QA program is summarized in Table 1.

QA level	Number of files evaluated	Follow-up action required by QAE if results are unsatisfactory
Level 1 – Homeowner survey	Ten percent of the delivery agent's first 50 files; five percent of the delivery agent's files thereafter. One file per energy evaluator per year minimum.	If more than 10 percent of files show complaints, perform a Level 1 or Level 2 (if appropriate) QA on an additional three files of the energy evaluator(s).
Level 2 – File assessment and trend analysis	Five percent of energy evaluator files.	Perform a Level 2 QA on the energy evaluator's next three evaluations.
	Five files per energy evaluator per year minimum.	
Level 3 – Data entry	Five percent of the delivery agent's files. Two evaluations per energy evaluator per year minimum.	Perform a Level 3 QA on the energy evaluator's next three evaluations.
Level 4 – On-site evaluation	One house per evaluator per year minimum.	Perform a Level 3 QA on the file. Perform a Level 1, 2, 3 or 4 QA as appropriate on the energy evaluator's next three evaluations.

Table 1. Summary of the NRCan Quality Assurance Program for EnerGuide for Houses.

## Conclusions

The R-2000 program has made Canada a world leader in energy efficient housing. Although only 8,000 R-2000 houses have been certified to date, the program has caused significant improvements in the quality and energy efficiency of all new Canadian houses. However, in order to meet its commitments to reduce greenhouse gas emissions, Canada must also bring about significant improvements in the energy efficiency of over seven million existing houses. The EnerGuide for Houses Program is based on the "house as a system" lessons learned in developing and implementing the R-2000 Program, and applies them to the renovations of existing houses. Over 5,000 houses have already received EnerGuide ratings and recommendations, and over 400 additional houses are receiving them each month. The two tiers of quality assurance should ensure that the program delivers accurate results and valid recommendations, and should help it to achieve its goals of increased awareness of the importance of energy efficiency in housing, and an increased ability to deliver energy efficient renovations and equipment.

## References

This article contains material from the following:

Hamlin, T., and Gusdorf, J. (1977). *Airtightness and Energy Efficiency of New Conventional and R-2000 Housing in Canada, 1997*. Natural Resources Canada, Ottawa.

Mullally-Pauly, B. (1977). *EnerGuide for Houses: Improving the Energy Efficiency of Canadian Homes*. Japan-Canada R-2000 5th Annual Meeting, Sapporo Japan.

Office of Energy Efficiency (1998). *EnerGuide for Houses: Quality Assurance*. Natural Resources Canada, Ottawa.

Office of Energy Efficiency (1998). *EnerGuide for Houses: NRCan Quality Assurance Guidelines*. Natural Resources Canada, Ottawa.

Riley M, Hamlin T., and Zaloum C. (1977). *Technical Framework for EnerGuide for Houses*. Japan-Canada R-2000 5th Annual Meeting, Sapporo Japan.

## 住宅品質保証プログラムのためのエナード (The EnerGuide)

Barbara Mullally Pauly, John Gusdorf

Natural Resource Canada

580 Booth Street

Ottawa ON Canada K1A 0E4

### 序 説

住宅のエナード(以下 EGH)プログラムは、カナダの住宅のエネルギー効率を上げる目的でカナダ天然資源省(以下 NRCan)が主体に構成したプログラムです。EGH は消費者に低層住宅のエネルギー効率を簡単に比較する方法を提供し、そして既存の住宅においては、リモデルによるエネルギー効率の影響を容易に理解できます。その目的は、新築や既存の住居のエネルギー効率の向上を奨励すること、と同時にインドアエアクオリティーの改善や構造の安全性の維持を図るものです。エネルギー消費の削減は温室効果ガス発生の減少にもつながります。そして、EGH は地球温暖化現象を防ぐ意味でもカナダの公約の重要な一部分です。

EGH への参加は厳密には自発的によるものです。住宅が登録されると養成されたエネルギー評価員が建物の外郭面の気密性、断熱性、暖房システム、給湯システム、換気扇を含む換気システムの調査、そして永久的に設置され作動しているエネルギー機器などからデータを集めるために訪れます。

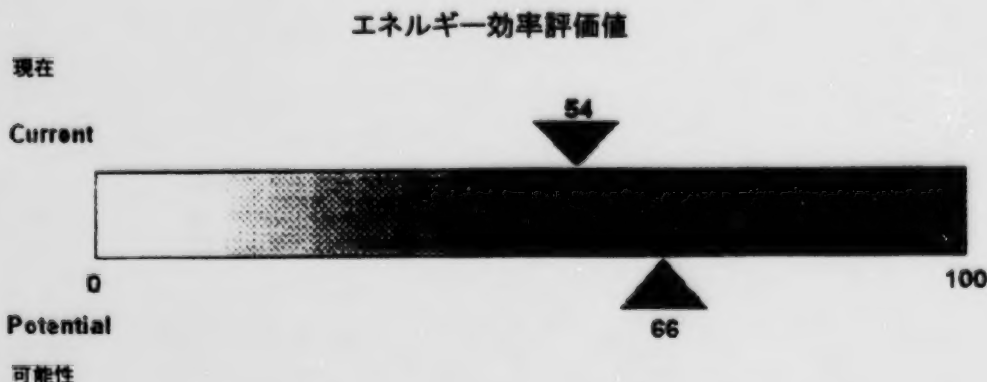
このデータは、特別に設計されたコンピュータープログラムに入力され、その建物に対して0 から100までのエナード評価値を付けます。そして、建物の各部分(天井・壁・窓・換気など)から失われるエネルギーの総量を求めます。評価者は、この情報を用いてインドア・エア・クオリティーの維持向上と共に住宅のエネルギー消費を減少するためのリフォームを推奨します。これらの推奨事項は、どのくらいエネルギーとコストを節約できるかを定めるプログラムに入力され、そしてエナード評価は向上を図ります。居住者は上記の全てが書かれた報告書を受け取り、現在の住宅のエナード評価が示されたラベルが貼られます。リフォームが完了した後、住宅は再評価され、エネルギー効率向上の効果を記した新しいラベルが発行されます。図 1 は典型的なレポートから得られた内容表示で、評価グラフの説明と共にその住宅の現在と可能性の評価を表しています。

EGH は、R2000 住宅プログラムと同じ基盤の「システムとしての住宅」の原則に基づいています。住

宅の一部分に与える変化は他の部分にも影響することを理解し、なおかつ快適性、健康性、居住者の安全性、そして恒久的な構造部分の完全性を追求することが原則です。住宅の建設や改築(リフォーム)において、常に根本的な配慮事項として考えねばならない。

住宅のネナーガイドは、

- エネルギー効率の利点について消費者の自覚を高める。
- エネルギー効率の改善に共感し優先する。
- エネルギー効率の改善促進をマーケティング・ツールとして利用し、住宅改築(リフォーム)産業の信頼性とプロ意識をより一層高める。
- 住宅の改築と建築産業を継続的に成長させ、より多くのサービスと省エネ商品の需要を伸ばすこと。金融機関に住宅の年間エネルギー消費量を提供することで、エネルギー効率による投資の認知



目盛の 0 は主に気密性が低く、断熱材が無く、そして極端に高いエネルギー消費のある不快な住宅を表し、目盛の 100 は高断熱、高气密で、優れた換気と共に、エネルギー購入を必要としない住宅を表す。

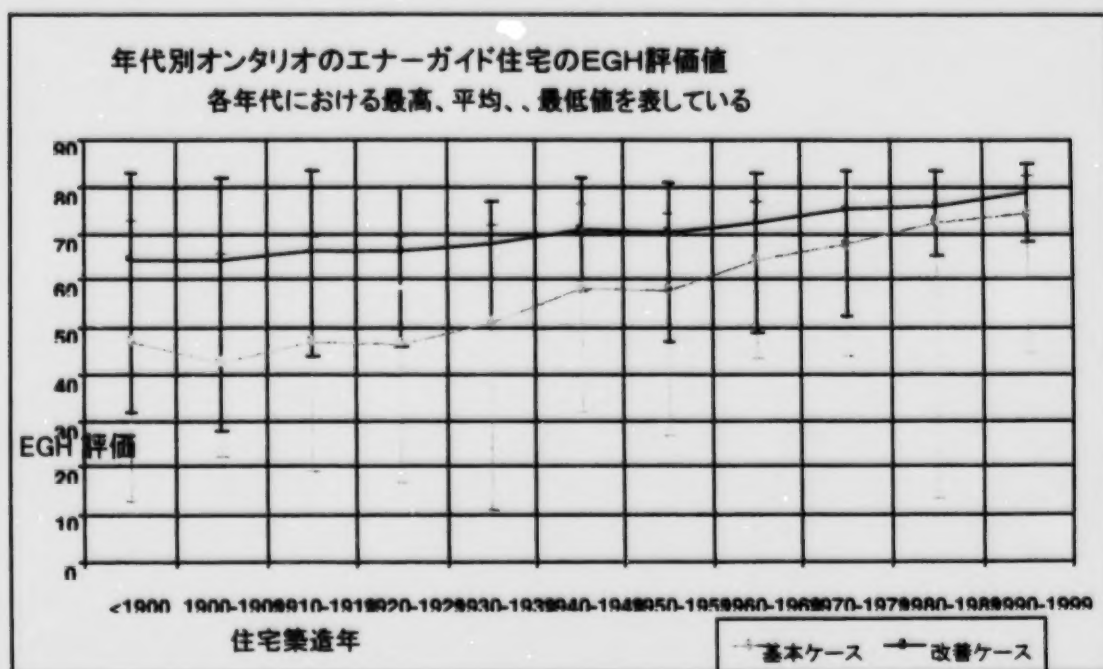
評価	住宅の特徴
0 から 50	改善されていない古い住宅
51 から 65	改善された古い住宅
66 から 75	よりエネルギー効率の改善を行った住宅、または典型的な新築の住宅
68 から 82	省エネ新築住宅
80 から 90	高いエネルギー効率の新築住宅
91 から 100	エネルギー非購入に近い住宅

図 1. 住宅オーナーへのエナーガイド報告書に表されるエナーガイド評価目盛

カナダ全体で5000棟を超える住宅がエナージード評価と推奨を受け、そして毎月400を超える住宅が追加登録されています。図2は建設日までのオンタリオ州における912戸のエナージード評価の平均をあらわしています。基本のケース(現在)の評価は新築住宅に対して、より高い評価に向かう傾向を表している。推奨する改築は既存の住宅を新築住宅の効率レベルまで近づけている。

NRCan の調査ではR-2000 住宅で平均エナージード評価値が 80 あり、一方、1990 年以降R-2000 以外で建てられた住宅の平均評価値は 73 であった事を表している。

図 2. オンタリオ州における912戸の住宅平均エナージード評価値



## エナージード品質保証プログラム

EGH プログラムの完全性と正確性を確実にするために、NRCan は品質保証(QA)の二つの段階を定義しています。一つ目の段階はエネルギー効率評価員として必要な技術と訓練をもち、丁寧に、一貫して、正確な方法で評価をすることが可能なエージェントによって果たされます。エージェントは特定な地域において EGH 評価をするため NRCan と契約を結んだ免許をもつ組織です。エネルギー



効率評価員は EGH 評価をする認定された個人である。第二段階では NRCan はエージェントで品質保証を果たす品質保証評価者と契約を結びます。

エージェントは将来のエネルギー効率評価者に成り得る人を養成し、建築工事におけるシステムとしての住宅の原理を理解し建築資材、建築科学の知識と技術をもつことを確認せねばならない。認定を受けるにはエネルギー評価員候補は少なくとも 2 回監督者と共に評価を行い、一回は単独評価をしなければならない。

エナード エージェントは各評価員の QA (品質保証) 見直しをしなければならない。

QA は各評価員が評価した最初の 20 戸の住宅中、ランダムに選んだ 20% に対して果たさなければならない。その後、ランダムに選んだ 5% の住宅の評価をする。

QA の見直しにはデータの収集と入力、的確な改善策の推奨、そしてプログラムの管理が含まれます。もし、QA の結果が満足でない場合、(たとえば要求の 10% 以上が満たされない) 問題が再発しないように速急に対処せねばならない。改善対処策として、不正または故意による失敗、あるいは QA によって判明した過失等の理由による評価員の一時的又は永久的な認定取り消しがあります。

エージェントはハウスオーナーの代表的なサンプルを調査することによって顧客の満足度をチェックしなければならない。顧客満足度はエネルギー評価員の態度、そして質的的確な改善の推奨事項についての質問が含まれて決まる。フォローアップは顧客がエネルギー効率向上を求めている限り行われる。

品質保証の第二段階は品質保証評価員(QAE)によってエージェントの見直しからなる NRCan QA プログラムです。このプログラムは 4 つのレベルから成り立っています。

レベル 1QA はエネルギー評価員とその評価と共にホームオーナーの満足度を計るのです。QA 調査員はエージェントの最初の活動から三ヶ月以内に集計された 50 のファイルから 10% を電話で調査をする。以後ファイルの 5% を調査する。最低各エージェントの評価員の一つのファイルは審査される。10% 以上の不満度があつた場合は不適格である。

レベル 2QA はファイルの評価と動向分析で、エネルギー評価員のファイルのランダムで選んだ 5% で行なわれる。またはレベル 1QA 調査での結果による。レベル 2QA はエネルギー評価員によつ

て集められた資料、EGH 報告書そしてファイルプログラムの調査から成り立ち、収集されたデータ及び報告書と推奨事項内容の相関性を決める。気密テストのデータや断熱性能は他の同様な年代や地域性における住宅と比較して消費エネルギーが十分に適合しているかを判断する。QA 評価員は年間にランダムに選んだ 5 つのファイルで動向分析を行ない、そのデータと推奨項目の正確性を判断する。例えば、同じような推奨項目が繰り返されている場合には、各住宅の特性による項目を無視して「標準書」を基に作成されていないかを調べる必要性がある。もし、問題が発覚した場合には、QA 評価員はその事項をエージェント及び NRCan に報告する。

レベル 3QA はエナジーガイド プログラムソフトへのデータ入力の正確性、そしてエネルギー評価員のソフトに対する理解度をチェックする。QA 評価員は年間最低一つの評価員のファイルを含むエージェントの2%のファイルを審査する。各ファイルについては QA 評価員は新ファイルを創り、エネルギー評価員によって集められたデータを入力してエネルギー分析を行なう。もし、2回のエネルギー消費量が2%以内であれば QA データ入力規定の範囲である。それ以外の場合、QA 評価員はその違いの理由を決めなければならない。そして、エージェントに警告を告げて、即急に評価員によって作られた次の三つのファイルでレベル 3QA を行なう。

レベル 4QA は1年に一度、QA 評価員が各々の評価員に対してランダムで選んだ一軒の家での現場評価を行なう。QA 評価員は評価員に就いて家に行き、別々の現場データを集め、エネルギー消費量を計算するため各々のファイルを作成する。QA 評価員と評価員とによって算出されたエネルギー消費量の誤差は5%以内であること。それ以外の場合は、QA 評価員は評価員のファイルをチェックする。また、QA 評価員は評価員の現場での作業が正確であったかを調べる。もし、現場評価で問題あるいは矛盾点が生じた場合は、QA 評価員はエージェントに警告を告げ、評価員に現場での対処策を即急に検討するよう命じる。その後、QA 評価員は次の3回の評価員によるエネルギー評価において問題点を十分理解した上でレベル 1, 2, 3、あるいは4を行なう。

NRCan QA プログラムはテーブル 1 で要約されています。

QA レベル	評価されるファイル数	結果に不満足な場合、QAE によるフォローアップ行動
レベル 1—住宅オーナー調査	エージェントの最初の 50 のファイルの 10%; その後ファイルの 5%。評価員当たり年間最低 1 つのファイル	もし 10%を超える不満が寄せられている場合、レベル 1 か 2[もし適当なら]QA を評価員の 3 つの追加ファイルで行う。
レベル 2—ファイルの判定と傾向分析	エネルギー評価ファイルの 5% 年間評価員ファイルの中の 5 つ	エネルギー評価員の次の 3 つの評価にレベル 2QA を行う
レベル 3—データ入力	エージェントのファイルの 5%、 年間エネルギー評価員の最低 2 つの評価値	エネルギー評価員の次の 3 つの評価にレベル 3QA を行う
レベル 4—現地評価	年間評価員当たり最低 1 つの住宅	ファイルにレベル 3QA を行う。 エネルギー評価員の次の 3 つの評価に適格なレベル 1, 2, 3, 又は 4QA を行う

テーブル 1. エナージェット住宅のための NRCan 品質保証プログラムの要約

## 結 論

R2000 住宅プログラムはカナダを省エネ住宅において世界のリーダー国とさせた。現在までに8,000棟が R2000 住宅の認定を受けるに留まっているが、このプログラムがカナダの住宅のクオリティーと省エネ政策に大きな改善を与えたことは大変有意義なことである。しかし、地球温暖化現象防止を遂行するにあたり、カナダは700万棟を超えるの既存の住宅にも省エネ政策の改善を進めていかねばなりません。住宅のエナージェットプログラムは R2000 住宅プログラムを開発・改善を行なっている時に学んだ「住宅のシステム」の原理を基本としています。そしてこのプログラムは既存住宅のリフォームにも応用できるのです。現在までに5,000棟を超え、加えて毎月400棟以上の住宅でエナージェット評価と推奨が行なわれています。2段階の品質保証制度が正確な結果と推奨項目を提案し、住宅におけるエネルギー効率の重要性を認識してもらうこと、そして省エネリフォームと省エネ器具の開発が進むことが大きな目的です

## 参考資料

この論説には以下のものからの引用したものを含みます。

Hamlin, T., and Gusdorf, J. (1977). *Airtightness and Energy Efficiency of New Conventional and R-2000 Housing in Canada, 1997*. Natural Resources Canada, Ottawa

Mullally-Pauly, B. (1977). *EnerGuide for Houses: Improving the Energy Efficiency of Canadian Homes*. Japan-Canada R-2000 5th annual Meeting, Sapporo Japan.

Office of Energy Efficiency (1998). *EnerGuide for Houses: Quality Assurance*. Natural Resources Canada, Ottawa.

Office of Energy Efficiency (1998). *EnerGuide for Houses: NRCan Quality Assurance Guidelines*. Natural Resources Canada, Ottawa.

Riley M, Hamlin T., and Zaloum C. (1977). *Technical Framework for EnerGuide for Houses*. Japan-Canada R-2000 5th Annual Meeting, Sapporo Japan.

# **A Building Concept for the Next Millennium**

## **- Towards a total building system -**

Norimoto KASHINO

Building Research Institute, Ministry of Construction

Tatehara 1, Tsukubashi, Ibaraki-ken, Japan 305-0802

### **1. Introduction**

Conservation of the global environment by such measures as the controlled consumption of resources or the controlled exhaust of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is one of the most important issues to be settled by human beings today. When raw materials (resources) are gathered, processed into a form that can be used in construction and fabricated into buildings, there is a mass consumption of energy, and the large quantity of CO<sub>2</sub> exhausted can increase the burden to the environment. In order to lessen the impact from such serious environmental problems, it is necessary to control the waste of large quantities of materials, to rationalize disposal methods of materials to be wasted from demolition and removal of buildings, to recycle such wasted materials, and to reduce the volume of materials to be wasted from the sites of manufacturing and fabricating.

Today, a long life span is required for buildings once they are built. Buildings become important as social assets and contribute to the establishment of a firm base for urban areas, in Japan.

Office buildings are often demolished and removed thirty to thirty five years after construction (houses normally twenty five to forty years). Under current social situations where productivity and investment strength tend to decrease, less money is being invested in construction. While the low economic growth era continues as the elderly population increases, the wasteful use of resources and energy in construction and demolition which has been ignored in the past will not be allowed in the future. It is desirable that office buildings and houses be designed to be used for at least a hundred years.

This paper will introduce briefly the preliminary discussions made on reinforced concrete buildings which are considered to be social assets of long lasting prototype to be stocked in the next millennium.

### **2. Basic requirements for Long Lasting Buildings**

The basic requirements for individual building units that are expected to last for a long time are shown in Table 1<sup>1)</sup>. In order to make buildings long lasting, buildings have to possess a highly durable structure (skeleton) consisting of rigid columns and girders, also have to provide the required functions that respond to the social trends such as the quick advancement of the world wide information net-work, the diversification of family make-up, and the capability of renovation. Buildings have to also create a favorable interior impression, and have a good appearance that is harmonized with the environment of adjacent areas.



Table 1 Basic Requirements for Long Lasting Buildings<sup>1)</sup>

Stability of Individual Unit		Consideration for Others
[skill]		[Will]
Physiology and Action <Shelter>	Sensitivity and Temperament* <Incubator**>	Responsibility and Cooperation <Numerator***>
●Durability	●Functionality and favorable Impression****	●Appropriate appearance
○Livability, safety, and proper measures for elderly people		○Pro-globalism and environmentalist
From "Hard" to "Heart" (Individuals enjoy functions)		From "Hard" to "Heart" (Performance of Building : Give and take between individuals and building)
"Man is the creature of his environment" < Polish own personality >		"Well feed, well bred" < Contribute to the world >

- (Notes)
- Basic requirements for long lasting buildings
  - Being prepared as design data today  
(Refer to Healthy and Comfortable Residence, Housing for Elderly People, edited under supervision of Ministry of Construction)
  - ★ Sensitivity : sensibility that can be stipulated by environmental conditions ; sensible feeling ; desire  
Temperament : mental character learned in the course of lifetime
  - ★★ Word named in the meaning of "mental cultivation"
  - ★★★ Means a building (numerator) in natural environment (denominator)
  - ★★★★ Selected as words that mean peace and support of mind and livableness

The term shelter means a place that affords protection, or a place that eliminates the adverse effects of sunlight, wind and rain. The skeleton is required to have sufficient durability so that it is essentially maintenance-free.

Basically, concrete is a very durable material. Reinforced concrete structures based on standard specifications and properly constructed can stand even after a hundred years<sup>2)</sup>. Studies on new technological subjects, such as the use of super high strength concrete either the use of resin coated re-bar for long lasting reinforced concrete buildings are being made in various fields, and details of the use have already been published in a manual<sup>3)</sup>.

Interiors and exteriors, partitions, doors and windows, and building equipment (in-fill) should be replaced periodically based on an appropriate schedule of replacement<sup>4)</sup>.

It will be necessary to gather and screen information on these subjects of wide or extended applications,

quality control, and methods of inspection and diagnosis for the building members. And the information should include cost data.

An incubator is meaning basically an apparatus which hatches eggs or cultivates microorganisms artificially. Like an incubator, interior space in buildings can have a great affect to the formation of sensitivity and temperament of occupants<sup>5)</sup>. In order to provide a comfortable space where people can work vividly, it is necessary to establish the plans for selecting good materials which can create a favorable impression<sup>6)</sup>.

From the surveys conducted in general urban communities, it is cleared that the most of buildings were demolished and removed mainly because : • urban areas redeveloped or site conditions had changed, • the number of occupants and necessary storage spaces had increased building facilities had to be replaced in advanced systems<sup>7)</sup>.

Also from the surveys conducted in overseas countries, it is understood that over 70% of the total buildings were demolished mainly because of the revision of functions<sup>8)</sup>.

In order to assure the better sufficient stock of buildings for the future, it will be necessary to practically and efficiently use existing buildings with appropriate renovations, while continuing with the construction of new buildings, regardless of minor regional differences.

The most of buildings in urban district were renovated at about the same time period after the breakdown of bubble economy<sup>9)</sup>.

While further progress of urbanization is expected<sup>4)</sup>, it is essential to take into consideration the capability of building renovation.

The word numerator means the part of a fractional expression above the line, or a person who makes calculations(calculator).

A city area is formed by a group of buildings (numerator). To create better city appearances that are harmonized with the natural environment, it is required for buildings to have appropriate surface finishings. It is also one of the important roles as a calculators (numerator) to consider the reuse and recycle of building materials and components which are provided after demolition<sup>10)</sup>.

The basis of materials in use are discussed in the references : 3) - for the durability of skeleton, 4) - for building functions, 5) and 6) - for the favorable impression, 6) - for the surface finishings, and 10) - for the reuse of waste materials.

### **3. A Prototype of Long Lasting Buildings**

Architectural activities can be classified roughly into four stages, the stage of planning, manufacturing and fabrication, use and demolition. This series of activities is called the Life Cycle. The term Life Cycle Management means the planning and the management at each stage<sup>11)</sup>.

When the planning are made for renovation, such as the updating of building functions, the

improvement of building appearances, and the changes in the use of buildings, it is considered necessary to adopt methods on repair and renewal work not only the basic structure but also prefabricating the in-fill down into small components, so that it may be easily assembled and disassembled building components and facilities.

In order to simplify the job site manufacture and construction, reducing labor force and costs, the advancement of automatic operation increasing the rate of knockdown of materials and components is very effective. Also, in order to rationalize the methods of disposing the waste material provided from building demolition and to increase the rate of recycling the waste materials, efficient prefabrication systems should be considered.

A prototype of long lasting buildings might be lead from the basic concept of the traditional thatch-roofed building in Japan. The thatch-roofed building is an assemble of the framework (skeleton) of large wood columns and beams, with roofing and doors and windows so on (in-fill) which are replaced periodically. The thatch-roofed building was used over a period of several hundred years. Since natural materials were used as they were, with uniform quality throughout the country, specifications and sizes of components were standardized except for minor regional differences. And the technical level of the construction were nearly uniform. It was easy to renovate, because the shape and size of major parts of the thatch-roofed building had been standardized. Castles and private houses could be built by only changing the assemble of the components.

From the social standpoint, it will be unavoidable to rely on industrialization building system in near future. The important issue for achieving this purpose is to further progress the industrialization of building systems, along with the establishment of menus on the skeleton and the in-fill, also their interface. This has to be considered essentially to assure the quality of buildings, and to reduce costs by improving production efficiency. It is also necessary to spread and generalize the construction techniques of industrialized building systems, taking into consideration the technologies handed down from generation to generation.

Figure 1 shows the design concept (Planning system) of long lasting buildings, based on the Life Cycle Management, the information feedback at each stage of architectural activities. It is presumed that designers of buildings be involved in each stage of architectural activities, planning, construction, use and demolition. It should not be forgotten to provide social and cultural values to buildings.

Building renovation most often involves repairs of kitchens and bathrooms, and equipment updates<sup>12)</sup>. In order to facilitate renovation in use, buildings must be provided with sufficient space for piping shafts and ducts and electrical wiring in preliminary planning (Scale planning / planning to determine column spacing, ceiling heights so on) and in the layout of internal, elevators and stairways so on (Space Planning / concept plan to determine the layout of the building's functional components).

For construction of the prototype of long lasting buildings, rational sizing and space plans are the basic requirements. It is desirable that studies be made on methods of establishing menus and rules required for this purpose.

Summary of Allowable Conditions Given to the "Use" of Buildings from  
"Planning and Design" and "Manufacture and Construction"

- (a) Allowable for Durability
- (b) Allowable for Functionality and Favorable Impression
- (c) Allowable for Appropriate Appearance

Adjustment Between "Planning and Design" and "Manufacture and Construction" ★  
(Adopt rational production system – robot controlled construction is also included)

- Energy saving construction (improvement of labor conditions by reducing working hours)
- Environmental pollution control

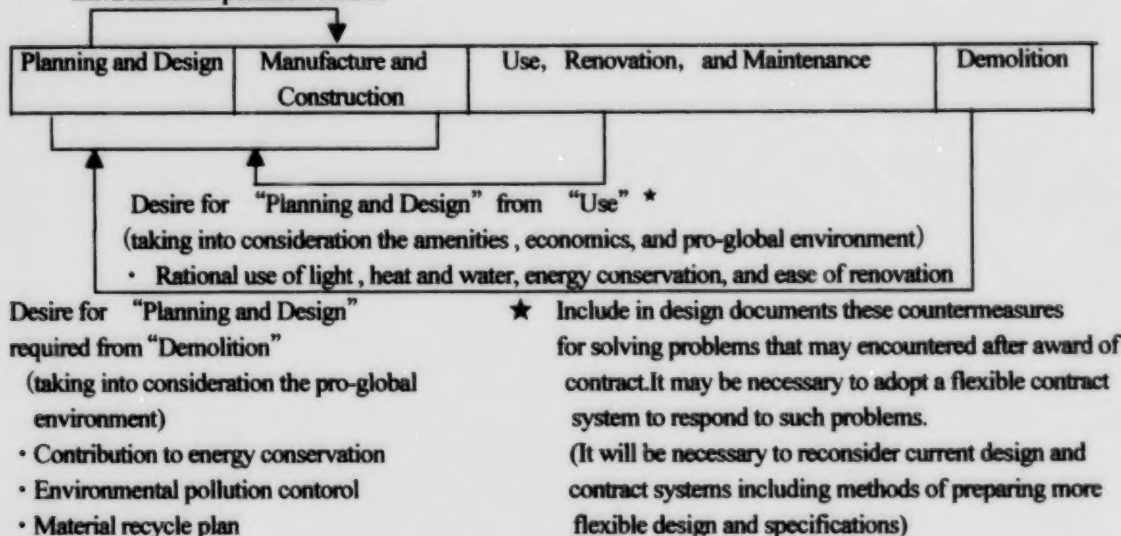


Figure 1 Design of Buildings Based on Feedback System of Information at Various Phases of Architectural Activities<sup>1)</sup>

For the evaluation items of premises management of buildings, landuse, routine work and expense for cleaning, and maintenance of buildings in use, are the most critical. These items are also referred to as a basis for determining property taxes and rental fees.

Updating of basic databases of buildings should not be neglected. Database such as building locations, reference documents, and maintenance records should be kept in a manner, so that it can be easily accessed by designers and contractors(also in a way to respond to at any time).

#### 4. Postscript

It can be predicted that the majority of the construction industry in near future will be concentrating on post-construction services. In order to increase the accumulation of appropriate assets for the benefit of society, there will be the requirement to make more detailed studies and analyses on various issues concerning above.

In Japan, the fact should not be overlooked that the long lasting buildings can be constructed only in urban districts where the infrastructure, such as roads and wastewater disposal systems, had been properly provided.

#### 《REFERENCES》

- 1) N. Kashino : Preliminary Discussions on Long Lasting Buildings, Proc. Academic Lecture in Architectural Institute of Japan, 1995 (Field on Building Economy)
- 2) Imre Biczok : Concrete Corrosion and Concrete Protection, House of the Hungarian Academy of Science, Budapest, 1964
- 3) N. Kashino : Durability of Reinforced Concrete Structures, Kajima Press, Feb. 1988
- 4) N. Kashino : Buildings and New Materials, Kajima Press, July 1988
- 5) N. Kashino : Dwelling Houses and Japanese, Gihodo Press, Jan. 1987
- 6) N. Kashino : Building Materials for Better Environment, Shokokusha Press, Jun. 1992
- 7) Ministry of Construction : Maintenance and Renovation FY 1992 Project Report
- 8) A. Aikivouri : CIB-W70, Tokyo, 1994
- 9) T. Uchida : Motivations on Building Renovation, Nikkei Architecture, 31 July, 1995
- 10) N. Kashino : Recycle of Waste Concrete for New Construction, Concrete Engineering, Vol. 25, No. 5, May 1987
- 11) N. Kashino : BELCA News, Sep. 1994 and Jan. 1995
- 12) Architecture Conservation Center : Improvement of Renovation Technology, Mar. 1995



## 次世代における一つの建築概念

### ー 建築（住宅）のトータルシステムに向けて ー

檜野紀元

建設省建築研究所第二研究部 茨城県つくば市立原 1 〒305-0802

#### 1. はじめに

炭酸ガス（CO<sub>2</sub>）排出の抑制や省資源を基軸とした地球環境の保全、廃棄物排出量の縮減が緊急の課題として重要視されている。

建築物の建設に際して消費される資源エネルギーの量は極めて多く、炭酸ガス排出量の増加とあいまって環境負荷が深刻の度を加えている。建築廃材の再利用に関する方策について検討する必要がある、また建築物の建設時および解体時における建設廃材の排出量を大巾に抑制することが求められている。

今日建築物についても、物理的・社会的耐用数が長い、都市の良好な基盤ともなし得る長期耐用型とする必要があると考えられている。

これまで、住宅は 25～40 年、オフィスビルは 30～35 年位で解体されることが多かった。少子化・高齢化社会における生産性や購買力の低下、経済の低成長路線の継続などの社会情勢に鑑み、これからは、住宅もオフィスビルも、構造種別にかかわらず、一般に 100 年の長期耐用型とすることが望まれる。

本稿では、RC 造建築を長期耐用型とする一つの概念について概説させていただく。これは、次の千年紀における建築をつくる一つの基本型として提案するものである。

#### 2. 長期耐用型建築物の基本要件

建築物を長期耐用型とするために具備すべき基本要件を表 1 に示す<sup>1)</sup>。

建築物を長期耐用型とするためには、安全性やしかるべき居住性といった建築の基本的な性能はもとより、柱や梁など躯体骨組みを構成する材料・部材（スケルトン）が十分な耐久性を有するとともに、世界的な規模で拡大する情報化や世帯の多様化、機能更新の容易化など、時代によって変化する社会トレンドに対応できる機能性や好感性を有し、使い勝手がよく、周辺環境とも調和した景観性を備えている必要がある。

表1 建築物を長期耐用型とするための基本要件

個 の 安 定	他 へ の 配 慮
「技」	「志」
生理・行動 <シェルター> ●耐久性 ○居住性・安全性、高齢者対応	感性・気質* <インキュベーター**> ●機能性、好感性**** 義務・協力 <ニューマレーター***> ●景観性 ○新地球環境性
ハードからハードへ (建築の性能・機能を個々人が享受)	ハートからハードへ (個々人と建築が Give&Take の関係)
「居は気をうつす」 <人格の陶冶>	「衣食足りて礼節を知る」 <世界に貢献>

●印………ロングライフ建築の基本要件

○印………今日、設計資料としての整備がいろいろと図られている

(建設省監修/健康・快適住宅、長寿社会対応住宅、環境共生住宅など参照)

\*………感性—まわりの刺激に応じた感受性、感覚に伴う感情・欲望

気質—後天的に生じる感情傾向

\*\*………“精神の涵養”の意で付けた言葉

\*\*\*………自然・環境(分母)の中の一建築の意

\*\*\*\*………心のやすらぎ性、心のささえ性、心のゆとり性などを指す言葉として設定

シェルター (shelter) は、保護する場所、日射しや・風・雨などを凌ぐ場所の意である。シェルターとしての第一義的な要点は、耐震・防火上の安全性をはじめ、躯体骨組みが十分な耐久性を有していることである。

躯体骨組みに多く用いられるコンクリートそのものは、本来耐久的なものである。きちんとした仕様で適切に工事が行われるならば、鉄筋コンクリートは 100 年の耐用が十分可能と考えられる<sup>2)</sup>。高強度のコンクリートの使用や、樹脂被覆鉄筋の使用、炭素繊維やアラミド繊維など新繊維材料による鉄筋代替材料の使用が、100 年以上の耐用を可能にする手法として提案されており<sup>3)</sup>、その具体的なマニュアルも整備されている。

内外装や間仕切り、建具、設備機器類 (インフィル) は、それぞれ躯体骨組みの耐用期間と同調するよう (100 年) 耐用期間を設定し、それにより更新する<sup>4)</sup>。建築部材や設備機器類の種類や構工法、品質、さらには検査・診断手法に関する情報を整備しておく必要があることは言うまでもない。

インキュベーター (incubator) は、孵卵器、培養器のことである。建築空間は、利用者の感性・気質の形成に大きな影響を与える<sup>5)</sup>。夏涼しくて冬暖かく、高齢者や身障者が安全に安心して居住できることは言うまでもなく、社会トレンドに対応した機能性や機能の更新性、好感性を有していることは、建築物を長生きさせるための一つの要点である<sup>6)</sup>。

調査により、都市計画上の理由、あるいは建築物が、情報化や世帯の多様化・労働慣行の変化など、時代とともに変化する社会トレンドに対応した機能性 (収容人員・収容物の増加に随時対応するなど含む) が備わっていない、また、心豊かに生活し活動するための好感性や、周辺環境と調和した景観性が十分に備わっていないという理由で解体される例が極めて多いことが分かった<sup>7)</sup>。

海外における調査でも、解体される建築物の約 70%は、主に機能性に係わる理由によると聞く<sup>8)</sup>。

将来に向けてよりよい建築ストックを確保するためには、地域によって若干の差はあろうが、新築を続ける一方で、既存の建築物に対する適切な機能の更新ーリノベーションを行うことが不可欠である。

都市部に建つ建築物の多くに対して、バブル経済崩壊後、一斉にリノベーションが行われている<sup>9)</sup>。

都市化のますますの進展が予想されているが<sup>4)</sup>、こうした点からもリノベーションについて検討することが今後増々重要になると思われる。

ニューマレイター (numerator) は、分数における分子、または計算する人という意味である。

個々の建築物 (分子) が集まって街並み (分母) を形成する。周辺環境と調和しない外観を呈する建築物は、比較的短期間で解体される傾向がみられる。地域の特性を生かしながらある秩序をもたせ、環境とよく調和した美しい街並みを創る外観とすることが要点である。

解体後の材料・部材の再利用を考慮したつくりとすることも、計算する人 (設計者) としての役割であろう<sup>10)</sup>。

上記それぞれに対する材料計画の詳細については、文末の参考文献をご参照下さい。

3)ー躯体骨組みの耐久性、4)ー建築の機能性と機能の更新性、5)、6)ー好感性、6)ー景観形成、10)廃材の再利用

### 3. 長期耐用型建築のプロトタイプ

建築活動は大きく、企画・設計、製造・施工、使用、解体の4つの段階に分けられる。この一循が建築物のライフサイクルである。

ライフサイクルマネジメントは、これら建築活動の各段階において、建築物を長期耐用型とするために必要な要件について検討事項を整理すること、(ならびにそれを発注・施工・引き渡し・維持管理・解体などの際に、関連の担当者が発注者らと相互に文書で表すなどして管理すること)である<sup>11)</sup>。

建築機能の更新や外観の更新(向上)、用途変更などリノベーションを容易とするためには、インフィル構成材料を工場製産による建築部品とすることが効果的である。部材を部品化することにより、建設時においても解体時においても、工事が合理化される。

建築構成部材の部品化により、品質の確保や省資源化の効果(木製の型枠を使用しないことなどを含め)はもとより、設計・施工の合理化、建設コストの低減、材工分離発注への切り換えの促進、流通の改善による受注の合理化(元請け一下請けの重層構造の打破)、市場の国際化などに期待できる。

さて、長期耐用型建築のプロトタイプは、私達が過去に有していたカヤぶき屋根の建築のコンセプトにみることができる。

カヤぶき屋根の建築は、しっかりした木材による柱・梁の軸組み(スケルトン)に、屋根やタタミ・障子などの建具類(インフィル)が組み合わさっていた。屋根は定期的に交換し、またインフィルは痛んだら随時交換した。そうして何百年も耐用したのである。

木材もカヤも、自然界におけるものをそのまま使用する材料であるから、全国どこでも品質が一定であり、また建築の技術もほぼ一定であった。

地域によって若干の差はあるが、形状や寸法が大体どこでも同じなのでほぼ、同一の技術で改修することができた。同じ構工法を用いても、城郭から町屋までデザインの自由度は保たれていた。

少子化・高齢化に伴う生産性の低下、労働力や技能者の減少の傾向は、さらにその度合いを深めるものと思われる。今後、これまでより一層材料・部材の部品化に頼らざるを得ない。

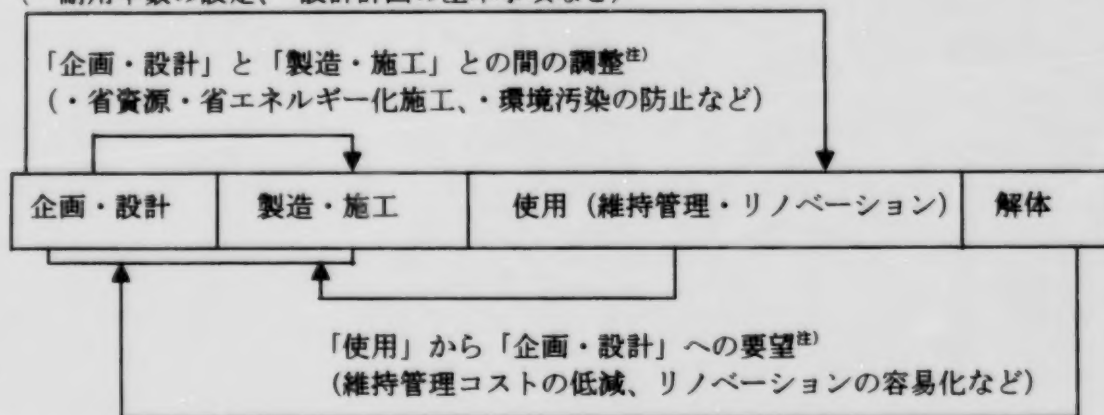
部品はもとより、材料・部材のモジュールや必要なインターフェイスも含めて、規格・寸法などについての標準化が課題である。

一定の品質を確保しつつ生産性を向上させ、ひいては建設コストを低減させることが肝要である。このためにも、工業化部材の使用による建築システムを普及させること、その技術が伝承可能な普遍性をもつものであることが望まれる。

図1に、ライフサイクルマネジメントに立脚した建築活動の各段階における要件の、企画・設計の段階へのフィードバックによる、長期耐用型建築の設計概念を示す。

設計家は建築活動の各段階における建築物を長期耐用型とするための要件をつぶさに把握するとともに、その建築物が有するであろう社会的、文化的価値について十分に考慮する必要がある。

「企画・設計」、「製造・施工」から「使用」に対する与条件の整理  
(・耐用年数の設定、・設計計画の基本事項など)



「解体」から「企画・設計」への要望<sup>注)</sup> (解体後の廃棄材料・部材のリサイクルなど)

注) 設計図書に、契約後に生じるこうした問題への対応事項も取り込んでおくほか、LCMの概念を導入し、フレキシブルな契約システムの導入を図ることが必要。

図1 建築活動の各段階における要件を考慮した長期耐用型建築の設計システム<sup>11)</sup>

建築物（住宅）のリノベーション工事の多くは、台所・浴室の改修、設備機器類の更新である<sup>12)</sup>。リノベーション工事を円滑に合理的に行うためには、スケール計画（柱の間隔や階高、配置スペースなどの計画）やスペース計画（平面図上の室の配置、リフトや階段の配置などのレイアウト）を余裕をもって行うことが肝要である。

建築物を長期耐用型とするためには、この両計画を十分に行うことが基本であろう。このための標準（規則）などを構築することが望まれる。

不動産マネジメントや土地の利用、清掃をはじめとする維持管理に係わる検討も重要である。これらは建築物の賃貸料や税金に関連する。

建築物に関する基礎情報のデータベース化も避けては通れない。建築物の土地や維持管理・改修の記録を一定の方法によりとっておくことが望まれる。



#### 4. おわりに

近未来、建設産業の主流は建築物の使用における「リノベーション」になると言われている。

良好な社会資産としての建築ストックを増やすためには、これまで述べたことについて今後とも検討する事項は多い。

特に日本においては、建築物を長期耐用型とし得るのは、道路や下水道などの社会資本がきちんと整備されたところにおいてであることを忘れてはならないであろう。

#### <参考文献>

- 1) 榎野：ロングライフ建築に関する基礎的考察、日本建築学会大会講演梗概集（建築経済部門）1995年
- 2) Imre Biczok: Concrete Corrosion and Concrete Protection, House of the Hungarian Academy of Science, Budapest, 1964
- 3) 榎野：鉄筋コンクリート造構造物の耐久性、鹿島出版会 1988年2月
- 4) 榎野：建築と新素材、鹿島出版会 1988年7月
- 5) 榎野：すまいと日本人、技報堂出版、1987年1月
- 6) 榎野：美しい環境をつくる建築材料の話、彰国社、1992年6月
- 7) 建設省総合技術開発プロジェクト：社会資本の維持更新・機能向上技術の開発 1992年度建築部会報告書
- 8) A. Aikivouri: CIB-W70, Tokyo, 1994
- 9) 内田：建築物のリノベーション動機について、日経アーキテクチュア、1995年7月31号
- 10) 榎野：建設廃棄物の建設事業への利用、コンクリート工学、Vol. 25、No. 5 1987年5月
- 11) 榎野：BELCA News、1994年9月号および1995年1月号
- 12) 建築保全センター、建築リノベーション技術報告書、1995年3月



**Posters / ポスター**

S

2

1

# Evaluation of Multiple Tracer Gas Techniques in an Actual-Sized Test House with Known Airflow Rates

Masamichi Enai

Kiyoshi Shimada

Fumiyuki Fukushima

Graduate School of Engineering

Hokkaido University

N13 W8, Kitaku, Sapporo 060

Fax 011-706-7828

Takao Sawachi

Hironao Seto

Building Research Institute

Ministry of Construction

1 Ichihara, Tsukuba 305

Fax 0298-64-6775

## 1. INTRODUCTION

Air distribution in airtight houses should be carefully designed in order to prevent future problems with air quality. In the case of passive ventilation in particular, it is important to understand airflow paths and interzonal airflow rates<sup>3)</sup>. One method for calculating ventilation rates within a house is the multiple tracer gas technique, the accuracy by using it do not have always evaluated by the other method in a strict sense. Usually, most houses do not have a device for measuring airflow rates. Accordingly, the multiple tracer gas technique can be used for measuring the airflow rates in such houses<sup>1),2)</sup>.

In this study, the interzonal airflow rates in an actual-sized test house were measured by using the multiple tracer gas technique. The test house has many cylinders within walls so that the volume of infiltrated and exfiltrated air-leakage can be varied. The Cylinders are equipped with devices for the measurement of the airflow rates passing through them that are calibrated according to the difference between indoor and outdoor air pressure. The results obtained from the multiple tracer gas technique were compared with those obtained from the differential pressure method in order to evaluate the accuracy of the tracer gas technique.

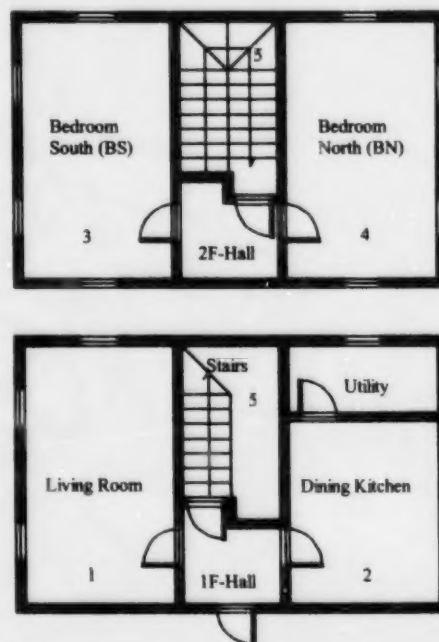
## 2. MULTIPLE TRACER GAS TECHNIQUE

The multiple tracer gas technique can provide data on simultaneous gas concentrations in the measured spaces. It can also be used to estimate airflow rates according to changes in outdoor conditions (e.g., wind velocity and the difference between indoor and outdoor air temperature) as well as the inflow rate of outdoor air into each room. However, these estimations are based on the assumption of homogeneous diffusion for an analytical divided-time, and also the accuracy of estimated values is affected by the injection method of the tracer gases<sup>4)</sup>, suitable time for calculations<sup>4)</sup>, modeling of the measured spaces<sup>5)</sup> and the form of equations used in the calculations<sup>3)</sup>. Even if above conditions are adopted, the degree of accuracy of the measurements usually falls below expectations. A flexible counterplan based on the characteristics

of the measured spaces is required for accurate measurement.

## 3. CYLINDER HOUSE

The test house, shown in Fig. 1, was built in a large air-conditioned room in the Building Research Institute. It was an actual-sized and two-storied house with a floor area of each story of about 66 m<sup>2</sup>. The optional difference between indoor and outdoor air temperature was set and was not affected by changes in the wind velocity of outdoor wind. The test house contained many cylinders, each with an inside diameter of 0.05 m, known as normal or slit cylinders. The location and quantity of these cylinders could be varied so as to vary the degree of air tightness of the test house as desired.



Room	LV	DK	BS	BN	SC
Volume [m <sup>3</sup> ]	31.67	31.67	31.67	31.67	49.36

Fig. 1 Floor plan of test house called Cylinder House



Table 1 Measurement conditions

Test	Ventilation method	Temperature difference	Air tightness [ $\text{cm}^3/\text{m}^2$ ]	Door condition	Undercut of doors
1	Natural ventilation	30°C	1	close	160 $\phi$
2	Natural ventilation	30°C	1	open	
3	Mechanical ventilation	30°C	1	close	160 $\phi$
4	Mechanical ventilation	30°C	1	open	
5	Natural ventilation	30°C	5	close	160 $\phi$
6	Natural ventilation	10°C	1	close	160 $\phi$

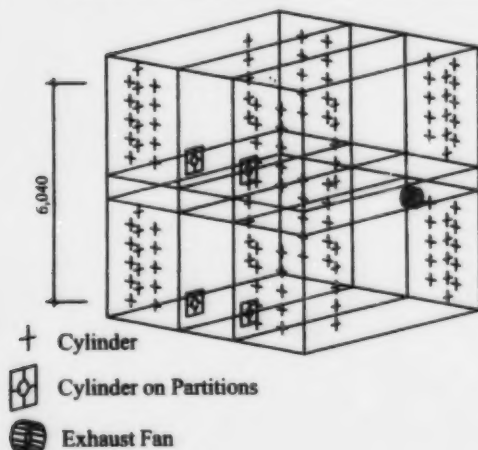


Fig. 2 Location of Cylinders

#### 4. MEASUREMENT CONDITIONS

As the evaluation of the accuracy of the gas technique was the main purpose of this study, Dining room/Kitchen and Utility room was kept open at all time. The cylinders at the highest and at the lowest levels were opened and used for a trial simulation of natural ventilation in a detached house in Hokkaido. The measurement conditions are shown in Table 1. The ventilation systems used were either natural ventilation, provided by the difference between indoor and outdoor air temperature, or mechanical ventilation, provided by an exhaust fan in Dining room/Kitchen. The difference between indoor and outdoor air temperature was 30 degree when the temperature of the large air-conditioned room is maintained at -5, or 10 degree when the temperature of large air-conditioned room is maintained at 15. The degree of air-tightness was either 1  $\text{cm}^3/\text{m}^2$ , or 5  $\text{cm}^3/\text{m}^2$ . The door conditions was either all doors opened, or all doors closed.

#### 5. MEASUREMENT SYSTEM

The tracer gases used were  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_6$  and  $\text{HFC}_{134a}$ . They were constantly injected at the rate of 0.003  $\text{m}^3/\text{h}$  by using a Mass-flow Controller. Small forced-diffusion fans were located at the tracer gases outlets. Sampling points were located in each measured zone (e.g., Bedroom South, Bedroom North, Living room and Dining room/Kitchen), as well as two points in the Stairwell, and two points in the large air-conditioned room. The total number of sampling points for obtaining the

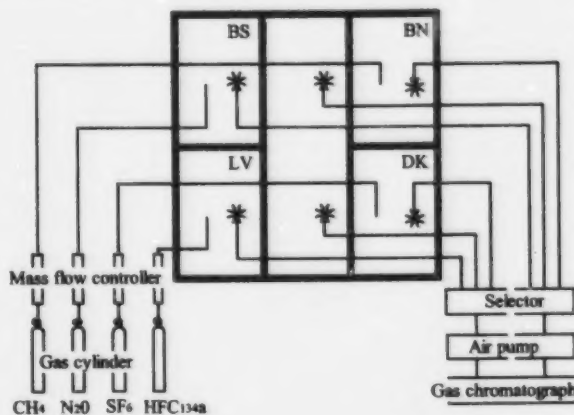


Fig. 3 Measurement system

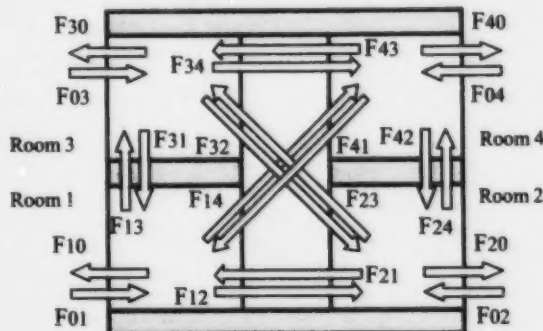


Fig. 4-1 4-zone model

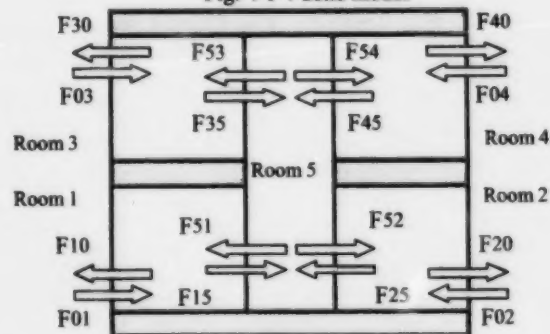


Fig. 4-2 5-zone model

The balance of airflow rates in Zone 1 is obtained from

$$F_{01} + F_{21} + F_{31} + F_{41} - (F_{10} + F_{12} + F_{13} + F_{14}) = 0$$

And the balance of gas concentration in Zone 1 is obtained from

$$C_{01}F_{01} + C_{21}F_{21} + C_{31}F_{31} + C_{41}F_{41} - C_{11}(F_{10} + F_{12} + F_{13} + F_{14}) = V_1(dC_1/dt) - M_1$$

Where is,

$F_{kj}$ : airflow rates from Zone  $k$  to Zone  $j$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$C_{ki}$ : gas concentration of  $i$  gas in Zone  $k$  ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )

$V_1$ : air volume of Zone 1 ( $\text{m}^3$ ),  $M_1$ : dose volume of  $i$  gas ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

## Test 1

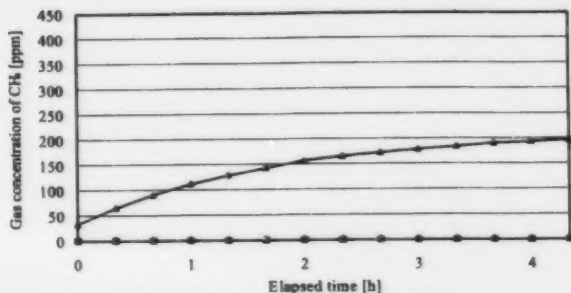


Fig. 5-1 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in BN

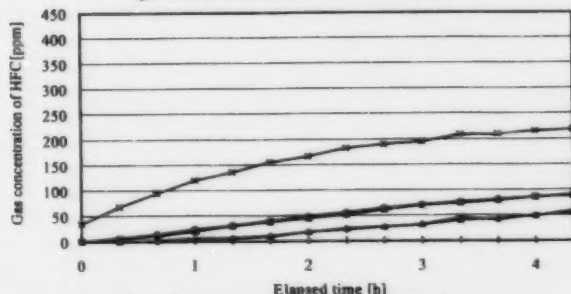


Fig. 5-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

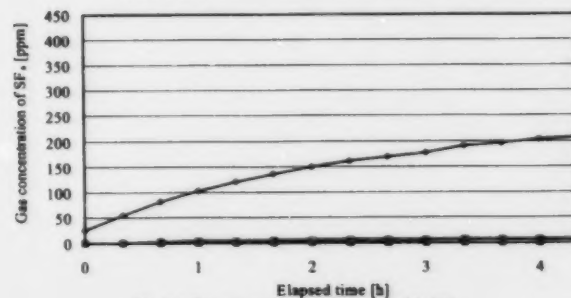


Fig. 5-3 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in BS

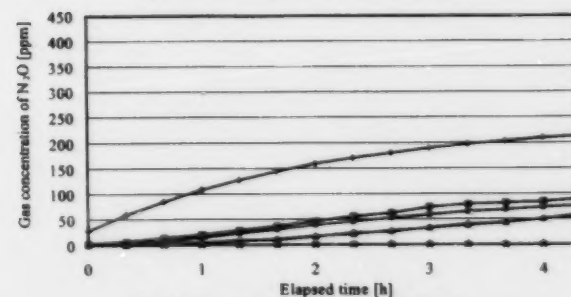


Fig. 5-4 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in DK

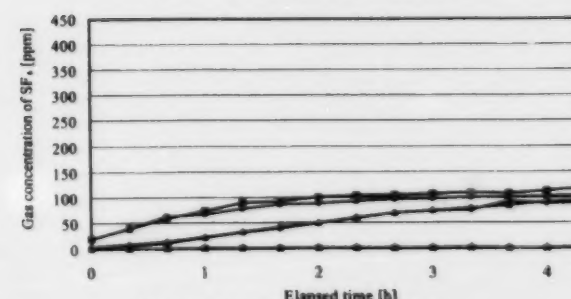


Fig. 5-5 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in SC

## Test 2

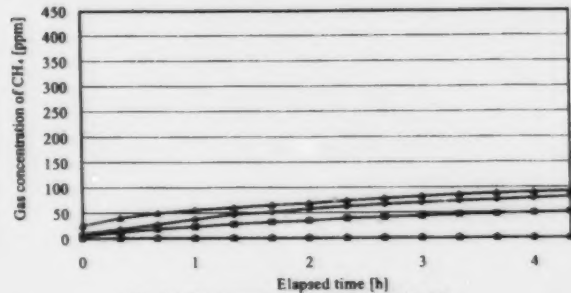


Fig. 6-1 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in BN

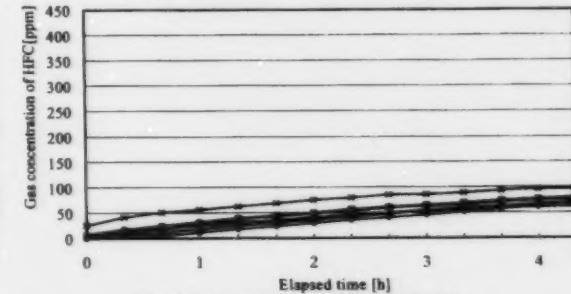


Fig. 6-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

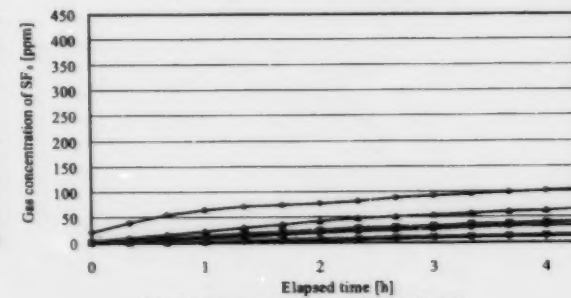


Fig. 6-3 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in BS

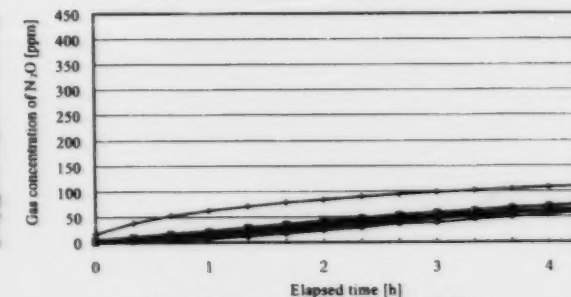


Fig. 6-4 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in DK

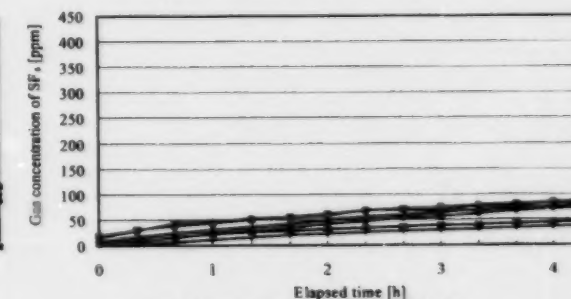


Fig. 6-5 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in SC

BS SC(2F) BN LV SC(1F) DK

### Test 3

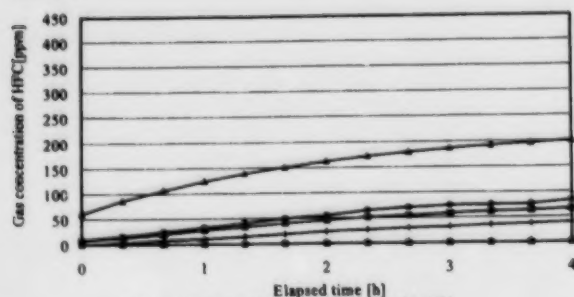


Fig. 7-1 Gas concentrations of HFC dosed in BN

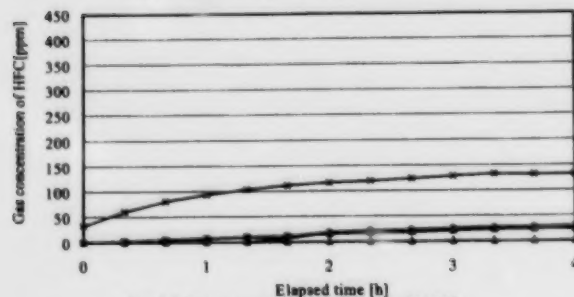


Fig. 7-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

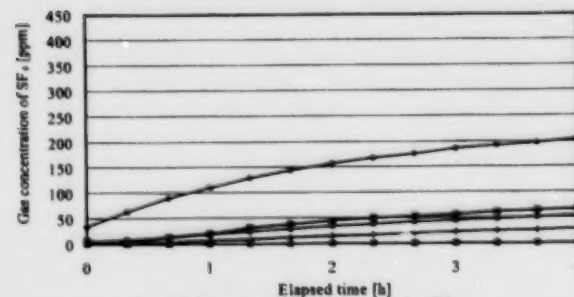


Fig. 7-3 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in BS

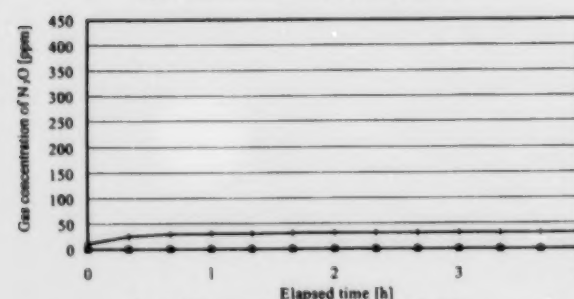


Fig. 7-4 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in DK

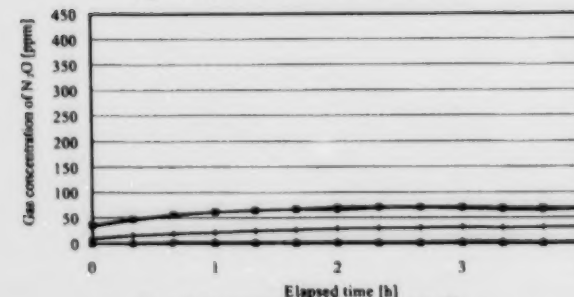


Fig. 7-5 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in SC

### Test 4

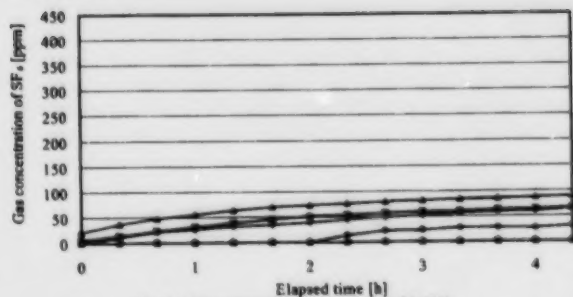


Fig. 8-1 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in BN

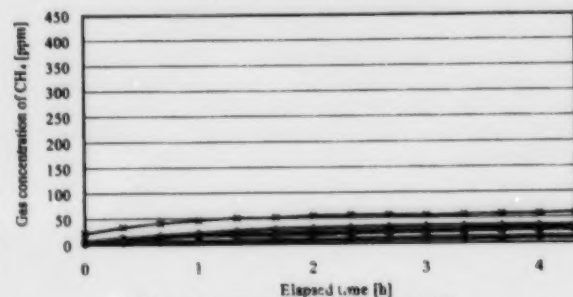


Fig. 8-2 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in LV

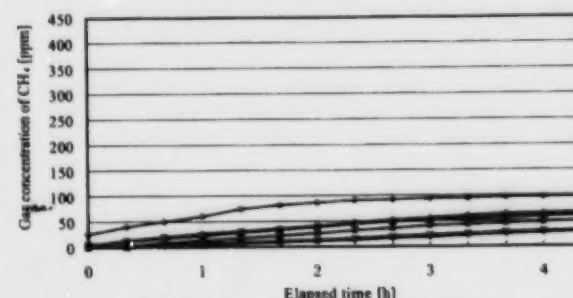


Fig. 8-3 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in BS

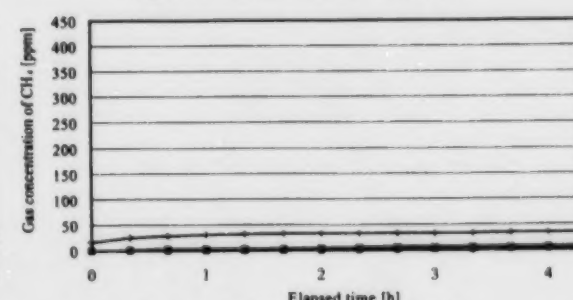


Fig. 8-4 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in BS

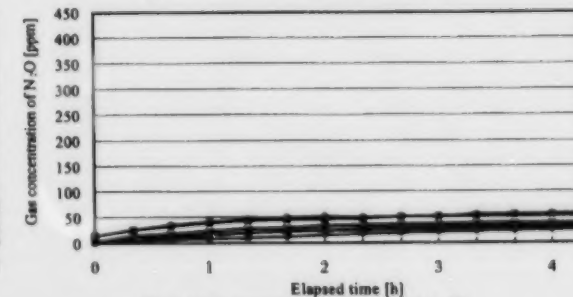
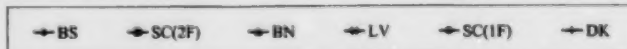


Fig. 8-5 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in SC



# Test 5

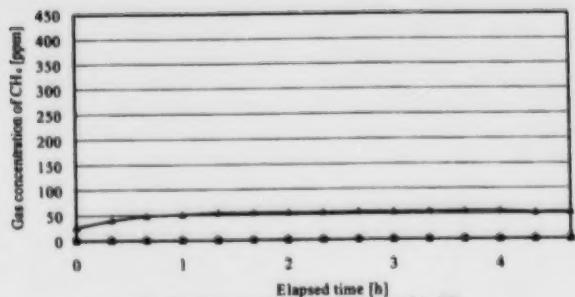


Fig. 9-1 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in BN

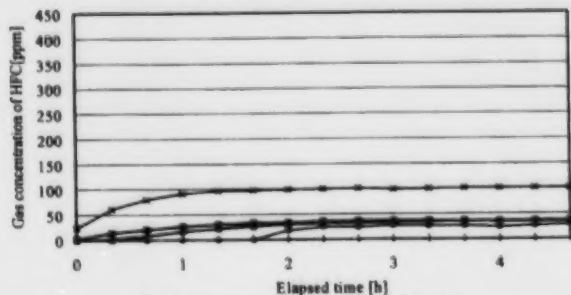


Fig. 9-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

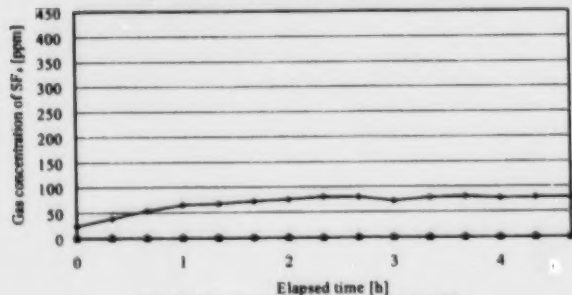


Fig. 9-3 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in BS

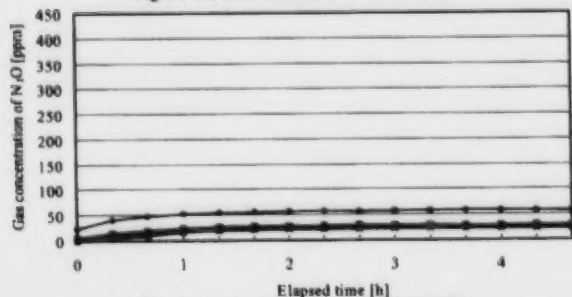


Fig. 9-4 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in DK

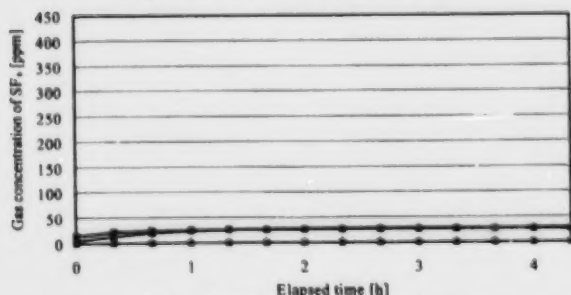


Fig. 9-5 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in SC

# Test 6

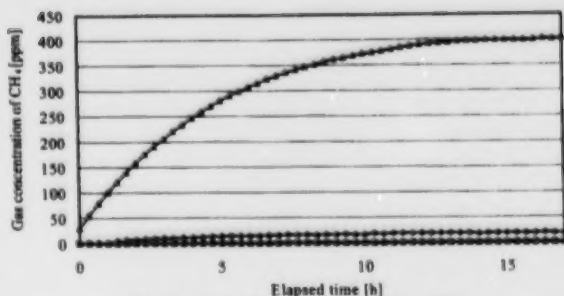


Fig. 10-1 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in BN

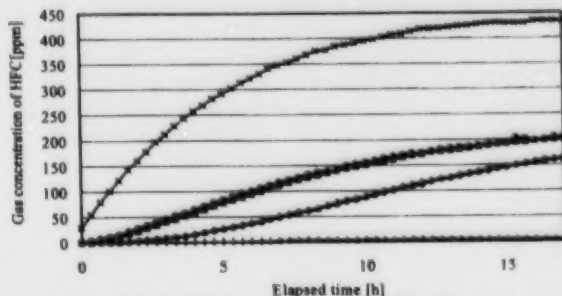


Fig. 10-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

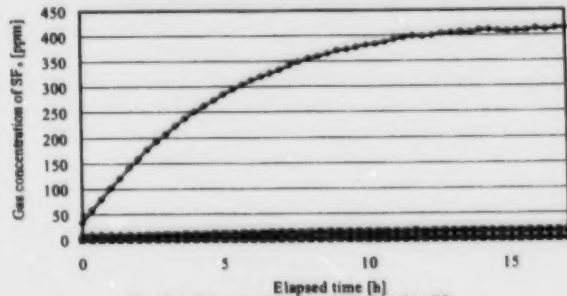


Fig. 10-3 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in BS

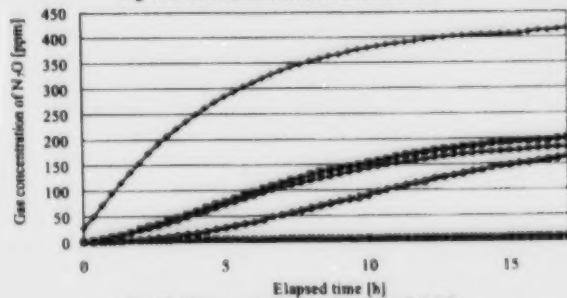


Fig. 10-4 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in DK

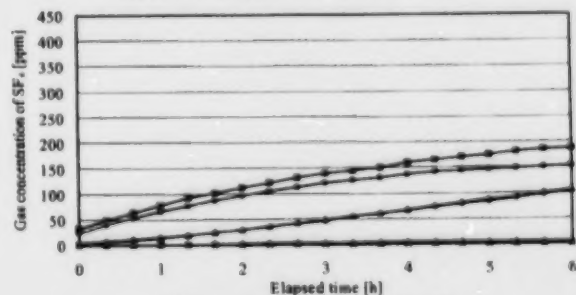
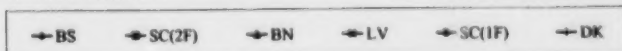


Fig. 10-5 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in SC



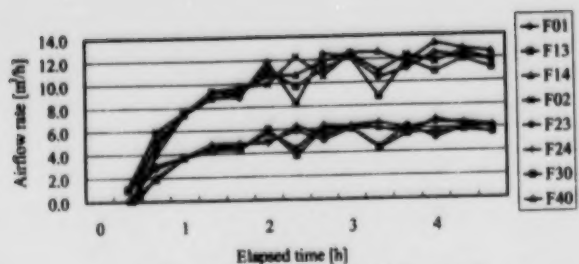


Fig. 11-1 Airflow rates in Test 1 of 4-zone model

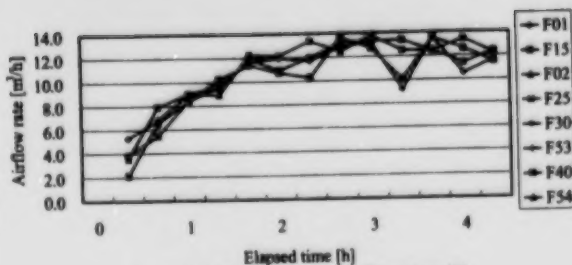


Fig. 11-2 Air flow rates in Test 1 of 5-zone model

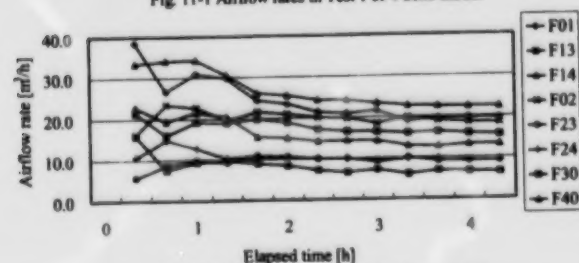


Fig. 12-1 Airflow rates in Test 2 of 4-zone model

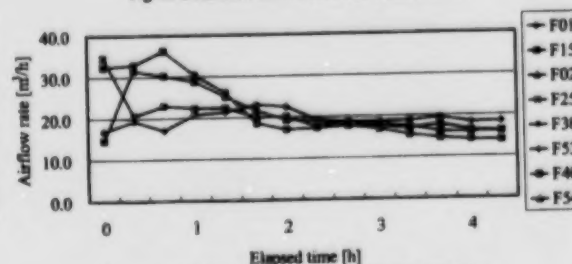


Fig. 12-2 Air flow rates in Test 2 of 5-zone model

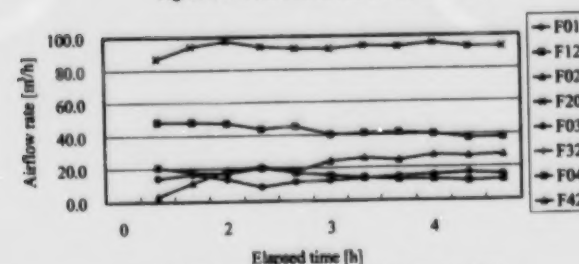


Fig. 13-1 Airflow rates in Test 3 of 4-zone model

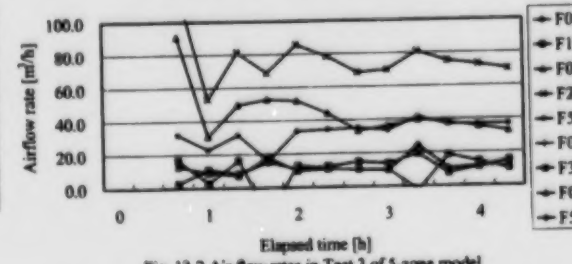


Fig. 13-2 Air flow rates in Test 3 of 5-zone model

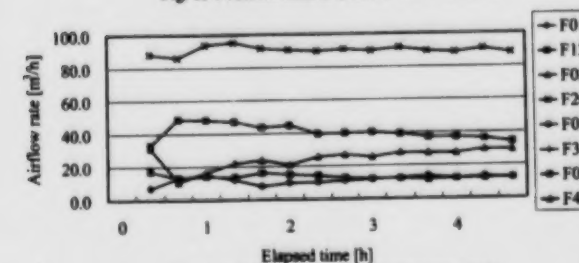


Fig. 14-1 Airflow rates in Test 4 of 4-zone model

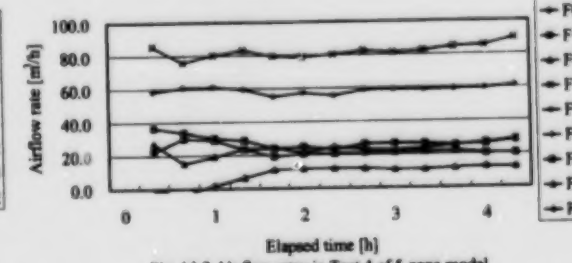


Fig. 14-2 Air flow rates in Test 4 of 5-zone model

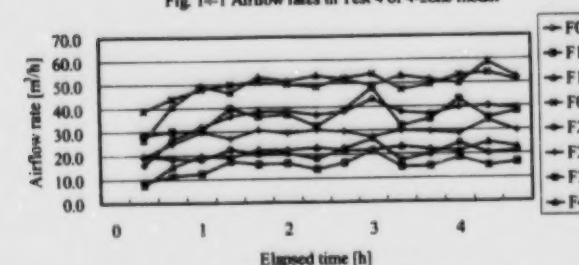


Fig. 15-1 Airflow rates in Test 5 of 4-zone model

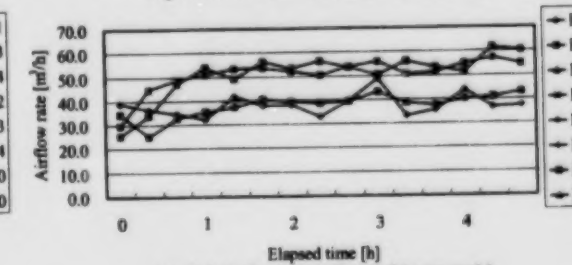


Fig. 15-2 Air flow rates in Test 5 of 5-zone model

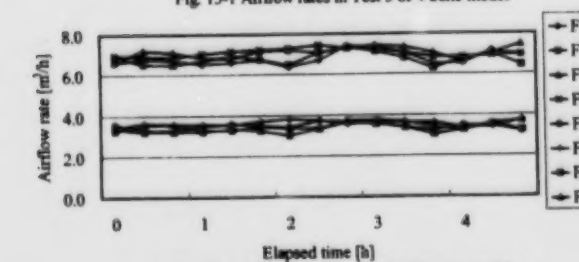


Fig. 16-1 Airflow rates in Test 6 of 4-zone model

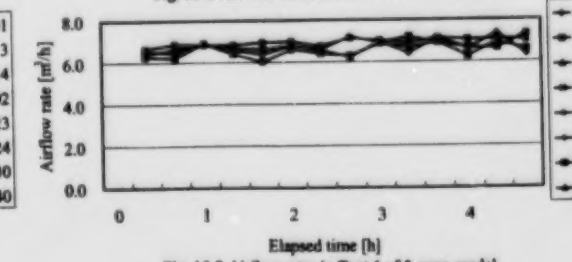


Fig. 16-2 Airflow rates in Test 6 of 5-zone model



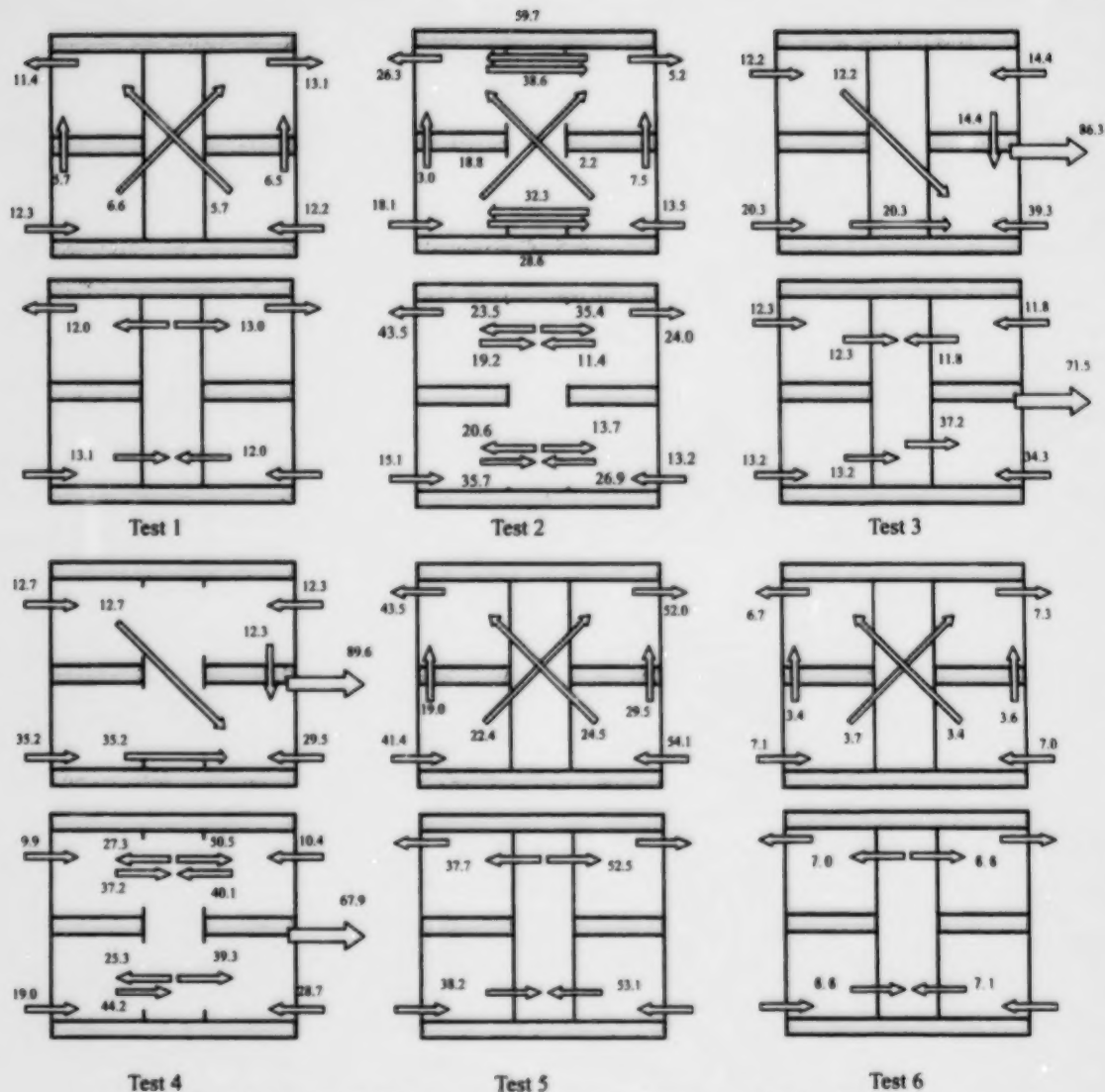


Fig. 17 Calculated results of airflow rates (the upper row : 4-zone model, the lower row : 5-zone model)

spatial mean gas concentration in each zone using manifold sampling was 8. Two channel-selectors were operated for a period of 20 minutes (i.e., 4 channels were open for a period of 5 minutes per channel). The tracer gas concentrations were measured by using a portable gas chromatograph. The measurement system is shown in Fig. 3.

## 6. MODELING OF THE MEASURED ZONES

Multiple-zone models are shown in Fig. 4-1 and Fig. 4-2. The modeling shown in Fig. 4-1 is a 4-zone model using 4 tracer gases. In this model, the central stairwell is an interconnected space and it is not included an actual volume in the calculations of airflow rates between zones. The modeling shown in Fig. 4-2 is a 5-zone model. In this model, one tracer gas is injected in the central stairwell after the injection of tracer gases into the main zones, as

shown in Fig. 4-1, has finished.

If the number of measured zones is four ( $n=4$ ), the number of equations required for calculating the airflow rates becomes 20 (i.e.,  $n(n+1)=20$ ). Fig. 4-1 reveals that it is possible to discount some airflow paths; thus some airflow paths are not included in this report. This type of modeling is more effective when a high degree of the accuracy is desired. The airflow rates were calculated by the least-squares method based on the restricted number of balance equations.

The measurement results of tracer gas concentrations are shown in Fig. 5 to Fig. 10.

## 7. RESULTS

The calculated results are shown in Fig. 11 to Fig. 16. Even if the airflow rates are constant in the case of the steady

state, the calculated airflow rates increase or decrease with the time elapsed after injection. In a previous study, it was possible to calculate the airflow rates at about one hour after injection because the tracer gas had not completely diffused. In this study, it was possible to calculate accurate airflow rates at about three hours after injection.

A comparison of the results obtained by the tracer gas technique and those obtained by differential pressure measurements are shown in Table 2. The latter results are calculated as a mean value from the data recorded during a one hour period after 3 hours after injection, at which time the calculated results had stabilized.

There is an obvious correlation between the airflow rates obtained by the two measurement techniques. There are errors of 20 % to 30 % between the values obtained by tracer gas measurements and those obtained by differential pressure measurements. The largest errors were observed in Test 5, in which the degree of air-tightness was  $5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ . We supposed that in this test there was an extreme distribution of gas concentrations caused by a large number of cold drafts (i.e., there is a main current and a sub-core in a zone). The values obtained for the 5-zone model were smaller than those for the 4-zone model, in addition, the degree of accuracy was better in the 4-zone model. However, there was a little difference in accuracy between the two models. Taking the central stairwell as an interconnected space rather than as an actual volume in the calculation of airflow rates between zones has little effect on the results. When the modeling supposed the interconnected space to function like an imaginary duct, we were able to calculate the interzonal airflow rates between restricted zones by using some restricted tracer gases.

## 8. CONCLUSIONS

The multiple tracer gas technique is evaluated by using an actual-sized test house with known airflow rates. The experimental results can be summarized as follows:

- (1) The values obtained by tracer gas technique have errors of 20 % to 30 %. This degree of accuracy is similar to those shown in the previous reports<sup>1), 2), 3)</sup>.
- (2) When the degree of air-tightness was low (e.g.,  $5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ ), the errors became larger. As a large number of cold drafts produce an extreme distribution of gas concentrations, a fan should be used to diffuse them if the airflow paths are not affected by the use of the fan.
- (3) If the kinds of tracer gas used are restricted, the modeling should suppose the interconnected space to function like an imaginary duct. If the volume of the

Table 2 Results obtained by differential pressure and those obtained by the tracer gas technique

Test	Method	I.V	DK	BS	BN	Exhaust airflow rate
1	Differential pressure	-15.0	-14.7	14.4	14.7	
	Tracer gas technique (4-zone)	-12.3	-12.2	11.4	13.1	
	(5-zone)	-13.1	-12.0	12.0	13.0	
2	Differential pressure	-14.8	-14.6	14.6	14.7	
	Tracer gas technique (4-zone)	-18.1	-13.5	26.3	5.2	
	(5-zone)	-15.1	-13.2	4.3	24.0	
3	Differential pressure	-25.7	-26.5	-14.7	-14.5	81.4
	Tracer gas technique (4-zone)	-20.3	-39.3	-12.2	-14.4	86.3
	(5-zone)	-13.2	-34.3	12.3	11.8	71.5
4	Differential pressure	-25.7	-26.5	-14.6	-14.4	81.2
	Tracer gas technique (4-zone)	-35.2	-29.5	-12.7	-12.3	89.6
	(5-zone)	-19.0	-28.7	-9.9	-10.4	67.9
5	Differential pressure	-64.8	-64.8	63.2	63.6	
	Tracer gas technique (4-zone)	-41.4	-54.1	43.5	52.0	
	(5-zone)	-38.2	-53.1	37.7	52.5	
6	Differential pressure	-9.2	-8.8	8.0	8.5	
	Tracer gas technique (4-zone)	-7.1	-7.0	6.7	7.3	
	(5-zone)	-6.6	-7.1	7.0	6.6	

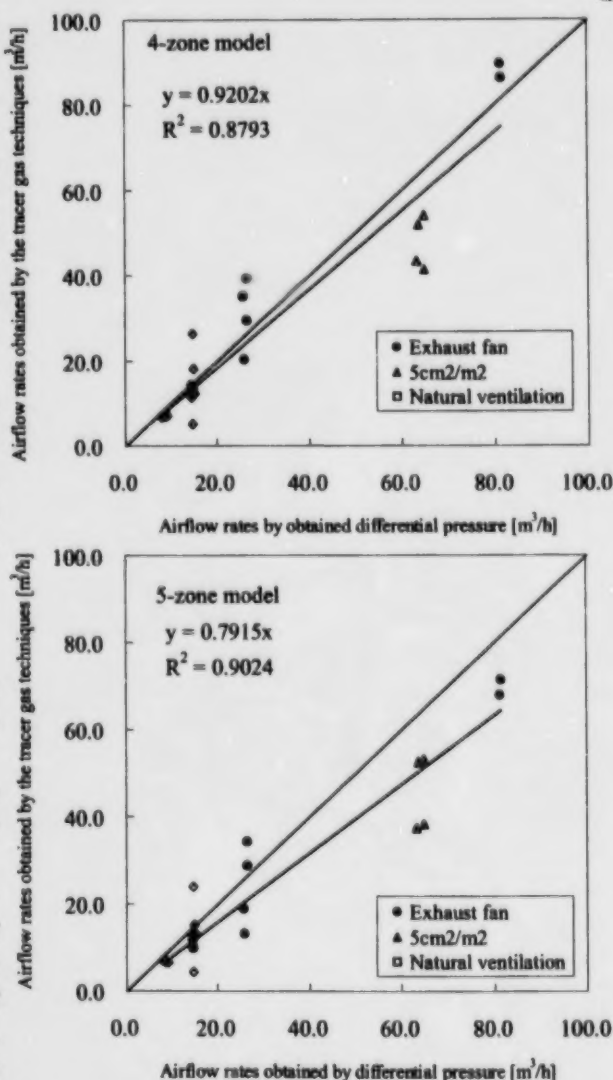


Fig. 18 Correlation between airflow rates measured by differential pressure and those obtained by tracer gas techniques

interconnected space is not considered in the calculation of airflow rates between zones, the results of the calculation is almost unaffected. In addition, we found that we can calculate the interzonal airflow rates between restricted zones by using some restricted tracer gases.

#### REFERENCE:

- 1)M. Enai, C.Y. Shaw, J.T. Reardon, 1990. the Multiple Tracer Gas Techniques for Measuring Interzonal Airflows in Buildings. ASHRAE Trans. AT-90-5-4(3370).
- 2)M. Enai, C.Y. Shaw, J.T. Reardon, R.J. Magee, 1990. Multiple Tracer Gas Techniques for Measuring Interzonal Airflows for Three Interconnected Spaces. ASHRAE Trans. AT-90-5-2(3369).
- 3)M. Enai, N. Aratani, C.Y. Shaw, J.T. Reardon, 1993. Differential and Integral Method for Computing Interzonal Airflows Using Multiple Tracer Gases. Proceedings of ISRACVE, ASHRAE(90363) pp.357-362.
- 4)M. Enai, N. Aratani, C.Y. Shaw, 1993. Measurement of Interzonal Airflows Using Multiple Tracer gas Techniques part-1. SHASE Trans. No.51, pp.15-17.
- 5)M. Enai, C.Y. Shaw, J.T. Reardon, N. Aratani, H. Kajii, F. Fukushima, 1998. Measurement of Interzonal Airflows Using Multiple Tracer gas Techniques part-2. SHASE Trans. No.72, pp.117-127.a

# 換気量既知の試験住宅を用いた多種ガス法の検定

絵内 正道

島田 潔

福島 史幸

北海道大学大学院工学研究科

060 札幌市北区北13西8丁目

Fax 011-706-7828

澤地 孝男

瀬戸 裕直

建設省建築研究所

305 つくば市市原1

Fax 0298-64-6775

## 1. はじめに

高断熱高気密住宅では今後ますます空気質問題も含め、慎重な空気環境計画が求められるようになるだろう。特に自然換気を対象とした場合には、換気経路や室間換気量の把握が大切になってくる<sup>5)</sup>。その様な換気法の検討方法の一つに多種トレーサーガス法があるが、例外を除き<sup>1)2)</sup>測定毎に厳密な精度検定を行っている訳ではない。その理由は、一般住戸に換気量を既知とする装置が付設されている訳ではないし、その様な住戸の換気量を測定するために多種トレーサーガスを適用するからである。

本報告では、壁の隙間開口条件を任意に設定でき、その通過風量を開口両端の差圧から既知量とすることができ、実験住宅を測定対象として、多種トレーサーガス法による外気流入量、室間換気量、流出量と既知量と比較し、多種トレーサーガス法の精度検定を行い、今後の適用結果の目安を得ようとするものである。

## 2. 多種トレーサーガス法

多種トレーサーガス法は、各測定対象空間のガス濃度が同時刻で得られるため、室間換気量が得られるだけでなく、換気動力となる内外温度差や風速などの外界条件が時間変動をしても各々の換気量を変動現象として捉えられ、各室への外気流入分配率も把握できると考えられている。しかし、トレーサーガス法は、各対象室の瞬時一様拡散を前提として、換気量の推定精度に関わる①ガス放出方法<sup>4)</sup>、②妥当な算定時刻<sup>4)</sup>、③算定式<sup>3)</sup>、④モデリングの妥当性<sup>5)</sup>などが検討されてきたが、ある条件を遵守すれば、期待の精度が必ず得られるという訳ではない。精度を向上させるためには測定対象の空間特性などに応じた柔軟な対応が必要となる。

## 3. シリンダーハウス

測定対象の実験住宅はFig. 1に示す建設省建築研究所の人工気象室内に建設されたシリンダーハウスである。

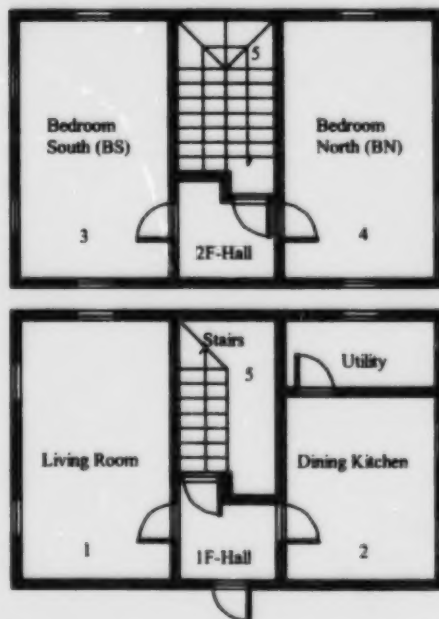
実大の試験住宅は延床面積約66m<sup>2</sup>の2階建てで、その特徴は外界の風速変動の影響を受けずに、任意の内外温度差の設定ができること、Fig. 2に示す内径5cmのノーマルシリンダーとスリットシリンダーの開閉によって外

界と室間に任意の隙間位置と面積(気密性能)を設定できること、シリンダーの内外差圧から通過風量(換気量)が算出できることにある。

## 4. 実験条件

主たる目的が多種トレーサーガス法の精度検定にあるため、モデル化が容易な様に、DKとUtilityの間のドアを開放して1室化した。また開口条件の設定に際し、差圧による換気量の換算精度を上げるために、ノーマルシリンダーのみで模擬測定を行った。

基本的に北海道の独立住宅を想定した。その測定条件をTable 1に示す。換気方式は①内外温度差を動力とする自然換気と②1F・DKから排気する機械換気の2種。住宅室温を一律25℃に設定し、内外温度差は①人工気象室温-5℃:30deg、②同室温15℃:10degの2種、気密性能は①1cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>と②5cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>の2種、生活条件は①内部ドア開、②内部ドア閉の2種とした。



Room	LV	DK	BS	BN	SC
Volume [m <sup>3</sup> ]	31.67	31.67	31.67	31.67	49.36

Fig. 1 Floor plan of test house called Cylinder House

Table 1 measurement conditions

Test	Ventilation method	Temperature difference	Airtightness [ $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ]	Door condition	Undercut of doors
1	Natural ventilation	30°C	1	close	160 φ
2	Natural ventilation	30°C	1	open	
3	Mechanical ventilation	30°C	1	close	160 φ
4	Mechanical ventilation	30°C	1	open	
5	Natural ventilation	30°C	5	close	160 φ
6	Natural ventilation	10°C	1	close	160 φ

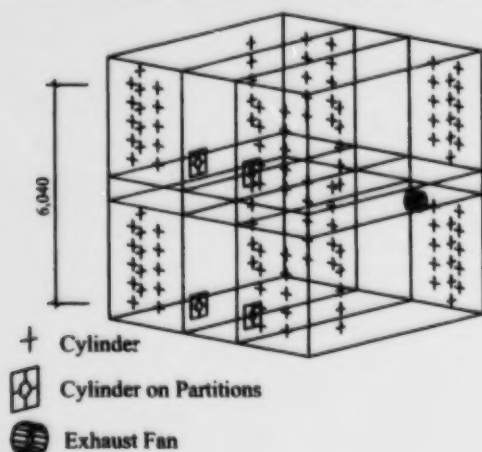


Fig. 2 Location of Cylinders

## 5. 測定システムの概略

トレーサーガスは $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{HFC134a}$ の4種。マスフローコントローラーを用い、各ガスをBN、BS、LV、DKの4室へ一定供給 [ $0.003\text{m}^3/\text{h}$ ]し、ガス放出口では小ファンによる強制拡散を行っている。ガス濃度のサンプリングは測定対象4室の4点、階段室で上下2点、及び外気の2点、計8点で行なった。Manifold Samplingによって対象空間の容積平均濃度が得られるよう工夫した。2台のガスセレクターを、5分間隔×4チャンネル(測定間隔20分)で切り替え、ガスクロマトグラフ[P200 Micro GC: HP]を用いて経時的なガス濃度変動の分析を行なった。測定系統をFig. 3に示す。

## 6. 解析対象室のモデリング

実験住宅の多数室モデルをFig. 4-1、Fig. 4-2に示す。Fig. 4-1は4種ガス・4室モデルで、階段室を実体容積を持たない換気の連絡路と仮想している。Fig. 4-2は別の時間帯に階段室でガスを放出し、重ね合わせて名目上5室モデルの計算を行っている。

対象室数を $n=4$ とすると、ガス濃度と換気量の収支式数は $n(n+1)=20$ となるが、濃度測定後、条件毎に基本モデルに示した幾つかの換気経路を無視できることが分かってきた。そこで本報告では、換気量の算定精度を上げるため、予め条件毎にその様な換気経路を除外した算定式を組み立て、最小二乗法により換気量の計算を行った。ガス濃度の測定結果をFig. 5～Fig. 10に示す。

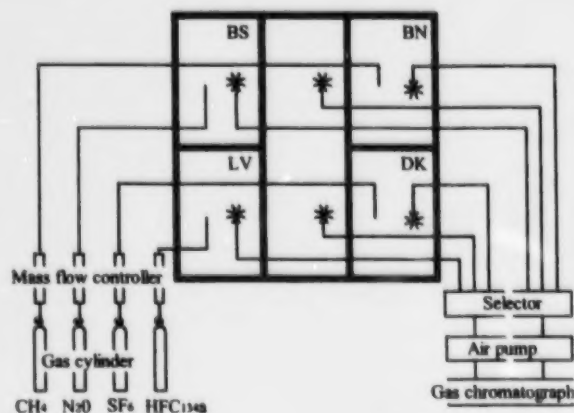


Fig. 3 Measurement system

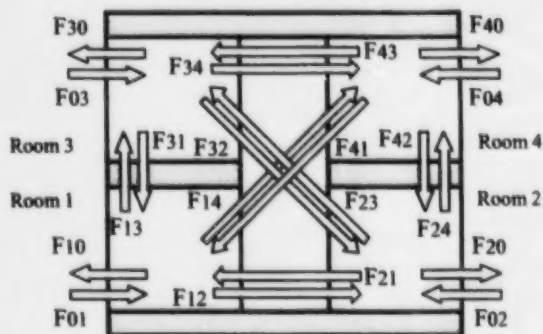


Fig. 4-1 4-zone model

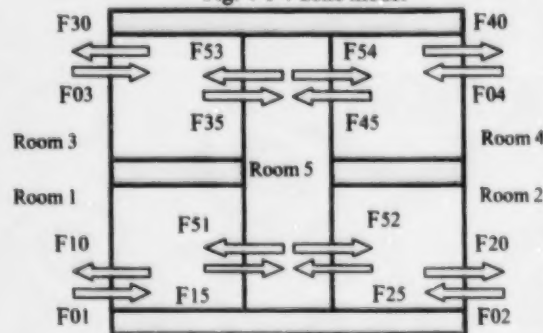


Fig. 4-2 5-zone model

室1の換気量収支式

$$F_{01} + F_{21} + F_{31} + F_{41} - (F_{10} + F_{12} + F_{13} + F_{14}) = 0$$

室1のガス濃度常微分方程式

$$C_{01} \cdot F_{01} + C_{21} \cdot F_{21} + C_{31} \cdot F_{31} + C_{41} \cdot F_{41} - C_{11} \cdot (F_{10} + F_{12} + F_{13} + F_{14}) = V_1 \cdot dC_1/dt - M_1$$

ただし、 $F_{kj}$ : k室からj室への換気量( $\text{m}^3/\text{h}$ )、

$C_{ki}$ : 室kでのiガスの濃度、

$V_1$ : 室1の室容積( $\text{m}^3$ )、 $M_1$ : iガスの発生量( $\text{m}^3/\text{h}$ )

他室、各ガスについても同様に方程式を立てる。



## Test 1

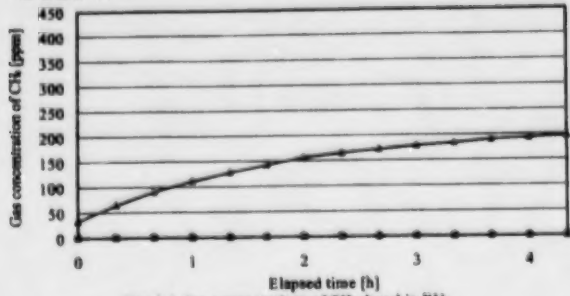


Fig. 5-1 Gas concentrations of  $\text{CH}_4$  dosed in BN

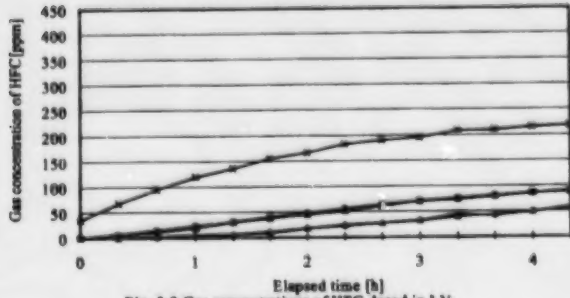


Fig. 5-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

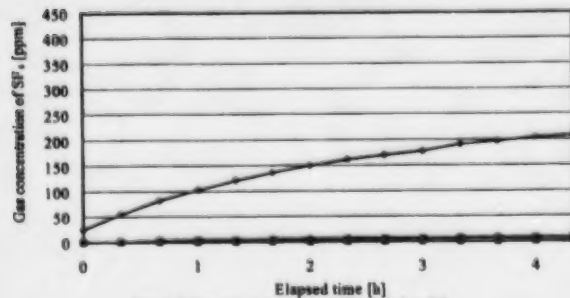


Fig. 5-3 Gas concentrations of  $\text{SF}_6$  dosed in BS

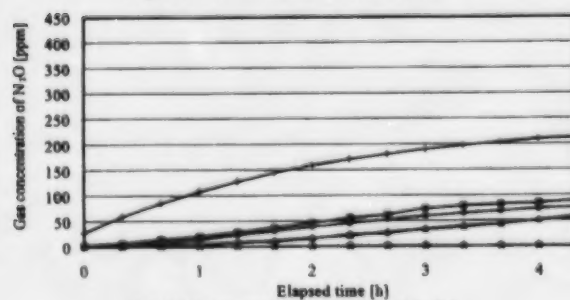


Fig. 5-4 Gas concentrations of  $\text{N}_2\text{O}$  dosed in DK

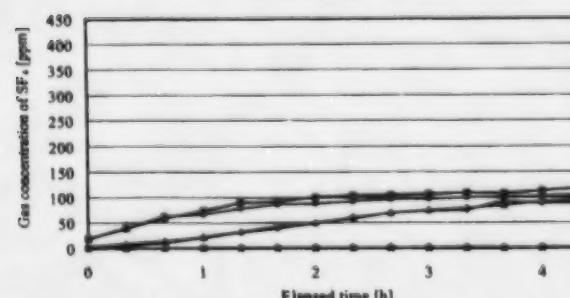


Fig. 5-5 Gas concentrations of  $\text{SF}_6$  dosed in SC

## Test 2

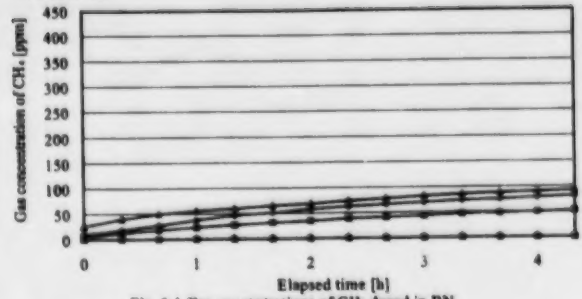


Fig. 6-1 Gas concentrations of  $\text{CH}_4$  dosed in BN

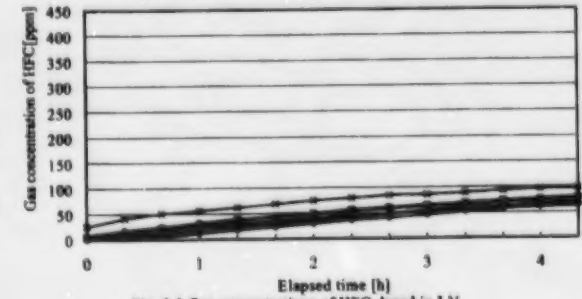


Fig. 6-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

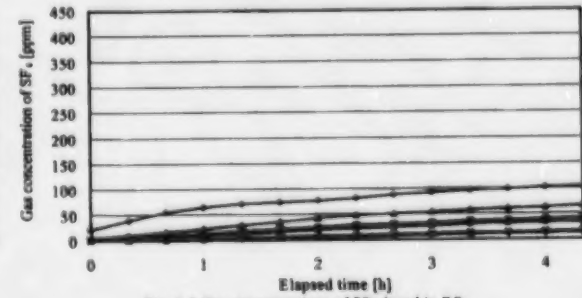


Fig. 6-3 Gas concentrations of  $\text{SF}_6$  dosed in BS

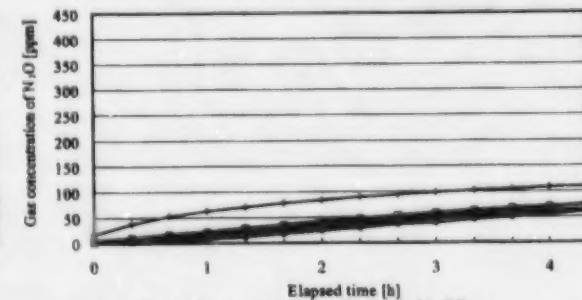


Fig. 6-4 Gas concentrations of  $\text{N}_2\text{O}$  dosed in DK

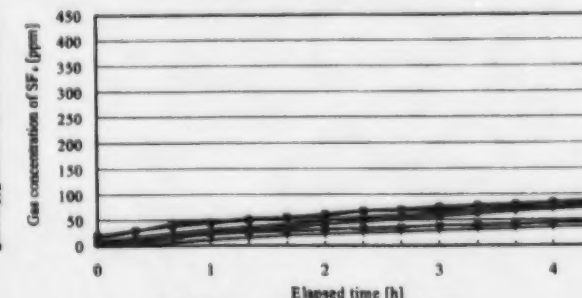
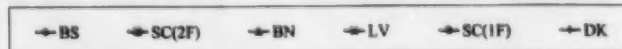


Fig. 6-5 Gas concentrations of  $\text{SF}_6$  dosed in SC



# Test 3

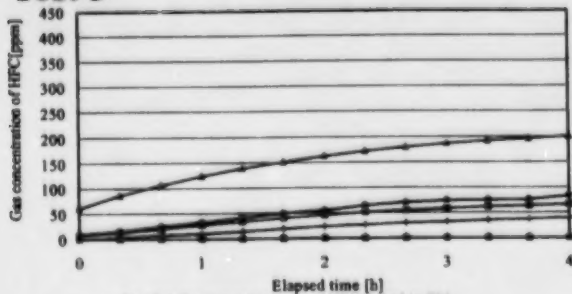


Fig. 7-1 Gas concentrations of HFC dosed in BN

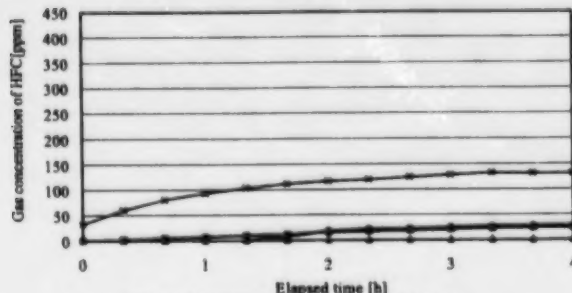


Fig. 7-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

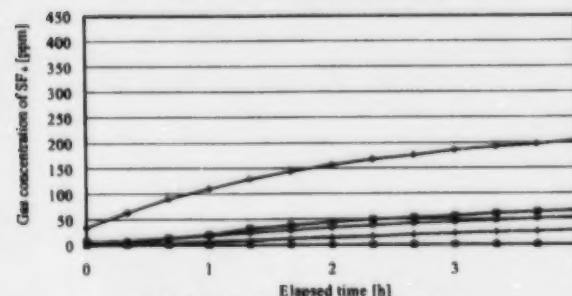


Fig. 7-3 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in BS

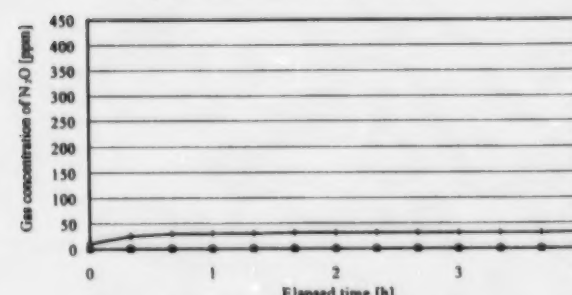


Fig. 7-4 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in DK

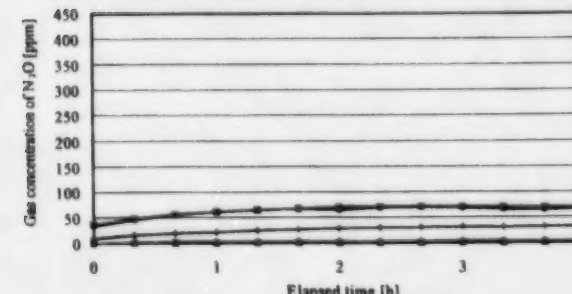


Fig. 7-5 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in SC

# Test 4

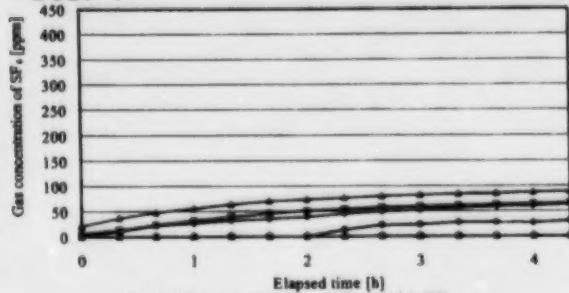


Fig. 8-1 Gas concentrations of SF<sub>6</sub> dosed in BN

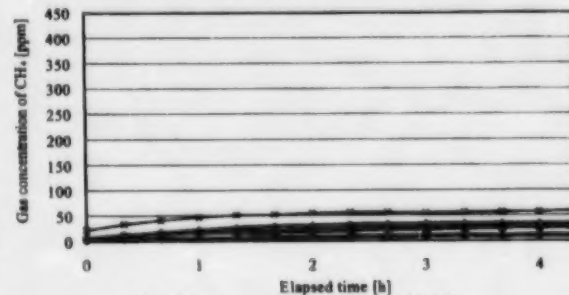


Fig. 8-2 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in LV

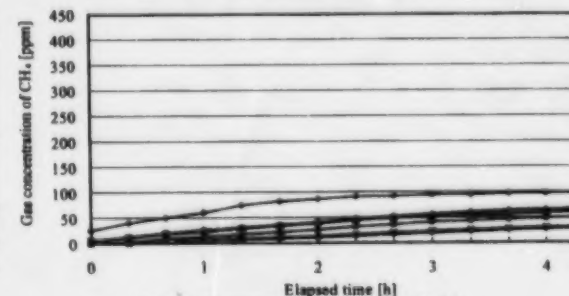


Fig. 8-3 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in BS

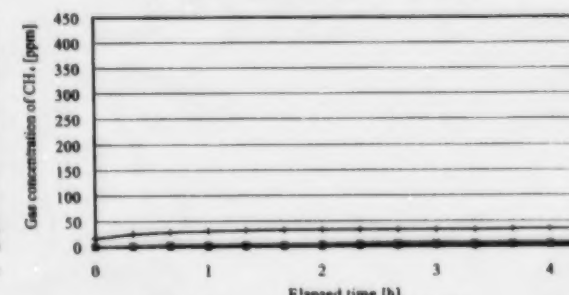


Fig. 8-4 Gas concentrations of CH<sub>4</sub> dosed in BS

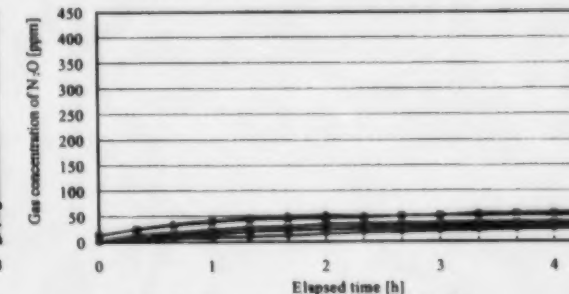
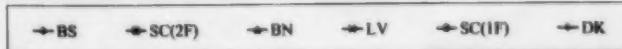


Fig. 8-5 Gas concentrations of N<sub>2</sub>O dosed in SC



## Test 5

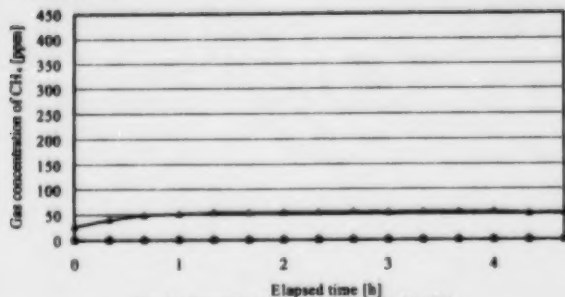


Fig. 9-1 Gas concentrations of  $\text{CH}_4$  dosed in BN

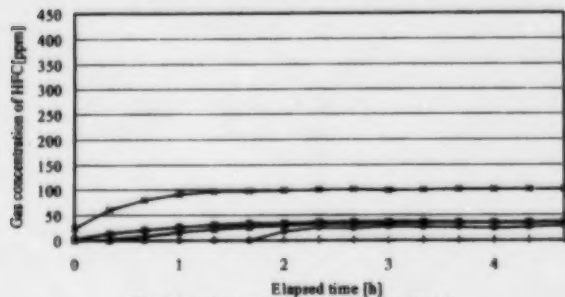


Fig. 9-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

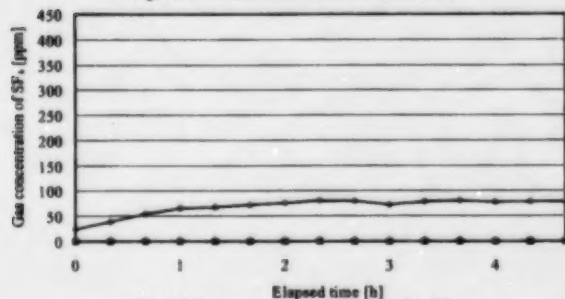


Fig. 9-3 Gas concentrations of  $\text{SF}_6$  dosed in BS

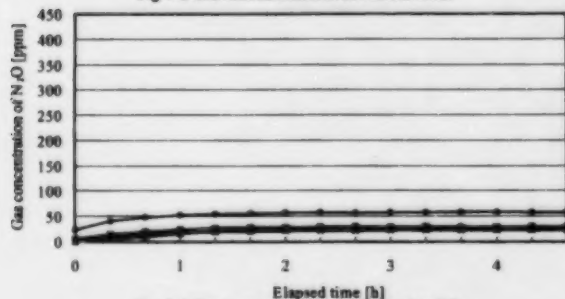


Fig. 9-4 Gas concentrations of  $\text{N}_2\text{O}$  dosed in DK

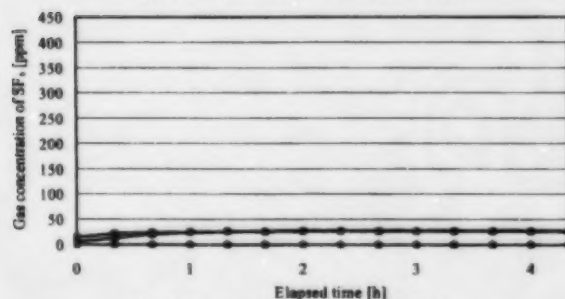


Fig. 9-5 Gas concentrations of  $\text{SF}_6$  dosed in SC

## Test 6

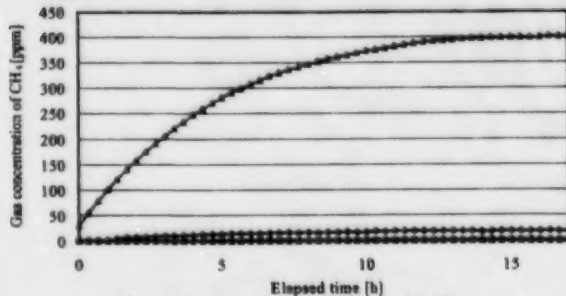


Fig. 10-1 Gas concentrations of  $\text{CH}_4$  dosed in BN

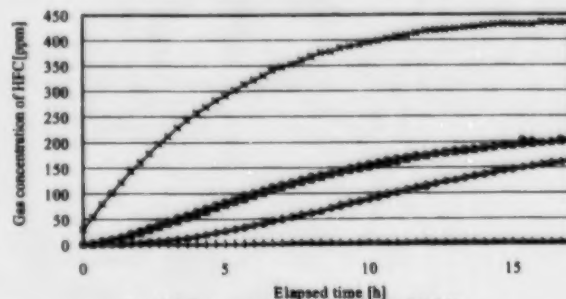


Fig. 10-2 Gas concentrations of HFC dosed in LV

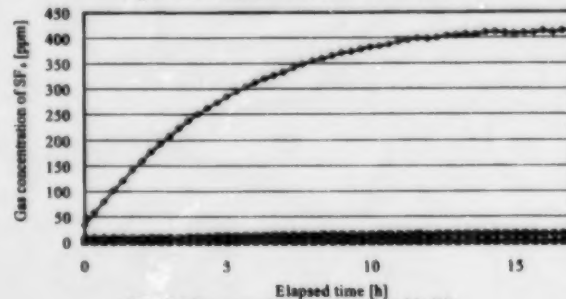


Fig. 10-3 Gas concentrations of  $\text{SF}_6$  dosed in BS

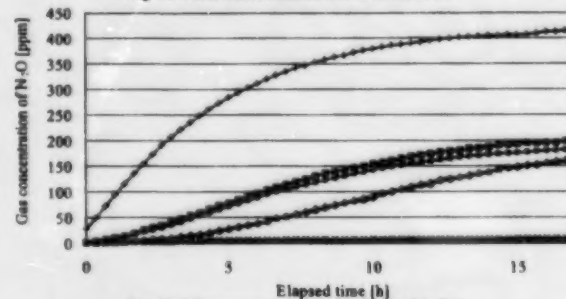


Fig. 10-4 Gas concentrations of  $\text{N}_2\text{O}$  dosed in DK

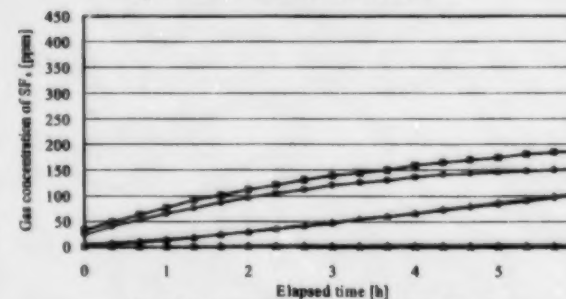
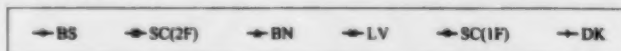


Fig. 10-5 Gas concentrations of  $\text{SF}_6$  dosed in SC



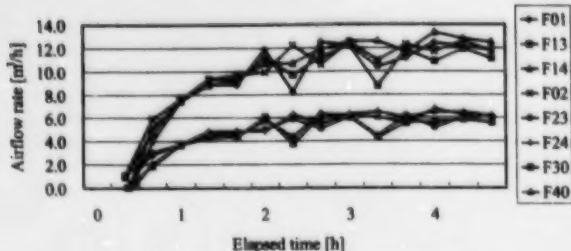


Fig. 11-1 Airflow rates in Test 1 of 4-zone model

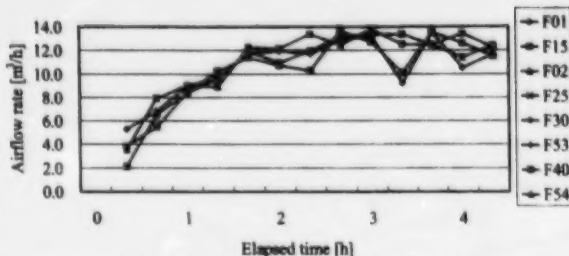


Fig. 11-2 Air flow rates in Test 1 of 5-zone model

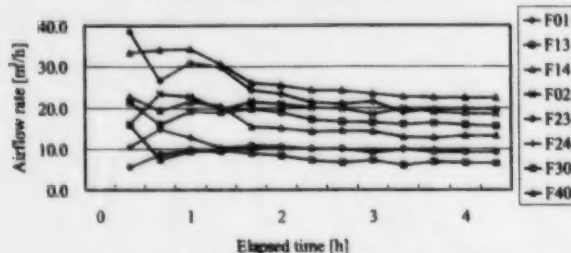


Fig. 12-1 Airflow rates in Test 2 of 4-zone model

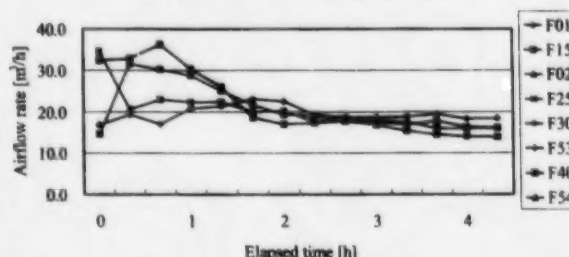


Fig. 12-2 Air flow rates in Test 2 of 5-zone model

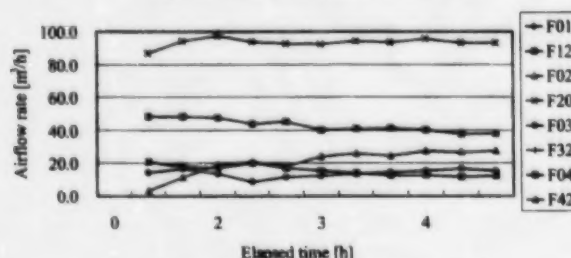


Fig. 13-1 Airflow rates in Test 3 of 4-zone model

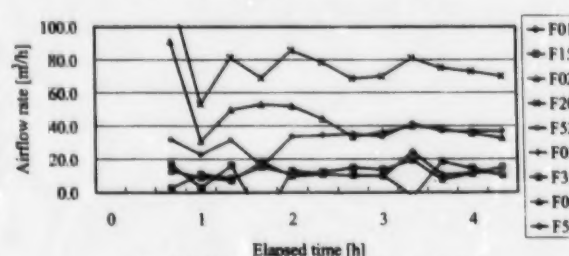


Fig. 13-2 Air flow rates in Test 3 of 5-zone model

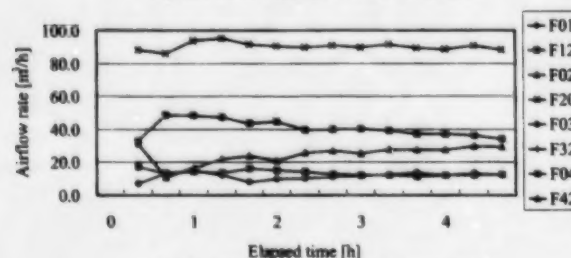


Fig. 14-1 Airflow rates in Test 4 of 4-zone model

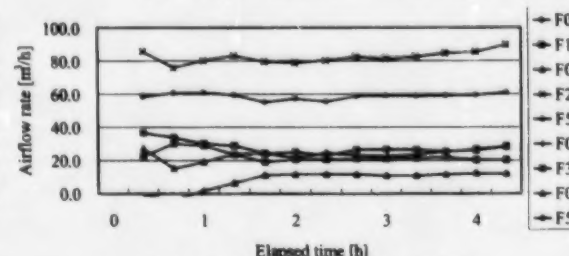


Fig. 14-2 Air flow rates in Test 4 of 5-zone model

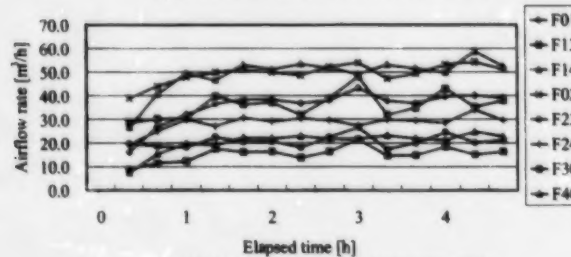


Fig. 15-1 Airflow rates in Test 5 of 4-zone model

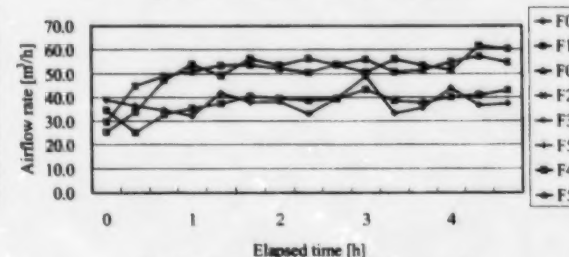


Fig. 15-2 Air flow rates in Test 5 of 5-zone model

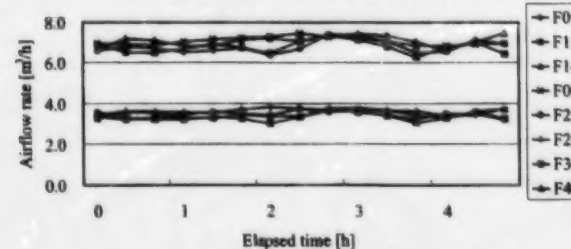


Fig. 16-1 Airflow rates in Test 6 of 4-zone model

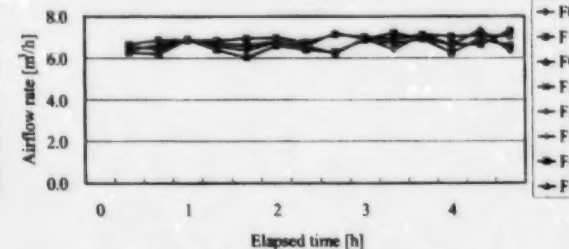


Fig. 16-2 Airflow rates in Test 6 of 5-zone model

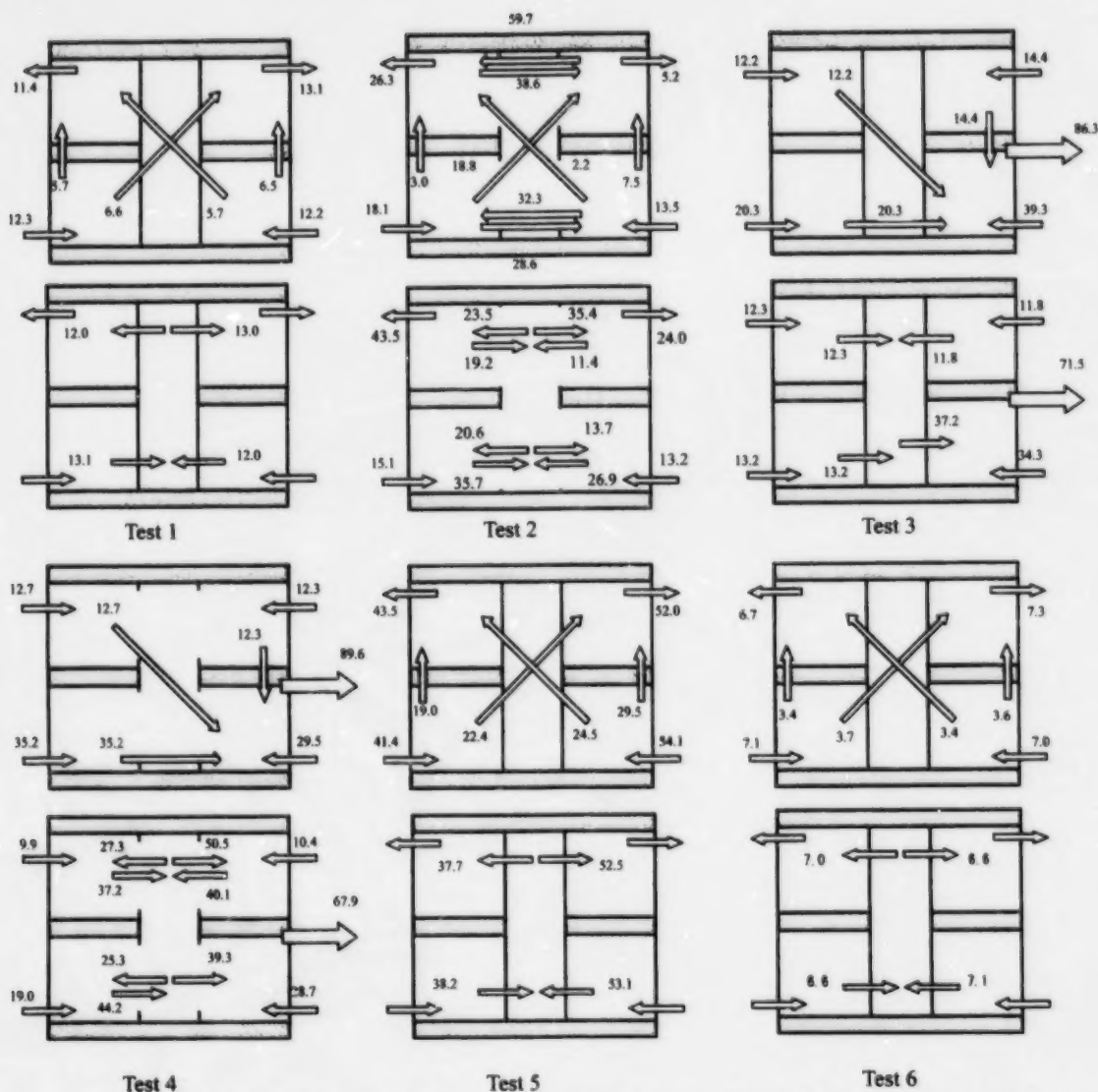


Fig. 17 Calculated results of airflow rates (the upper row : 4-zone model, the lower row : 5-zone model)

## 7. 測定結果

Fig. 11 ~ 16 に換気量の算定結果を示す。定常状態における換気量は常に一定であるにもかかわらず、換気量は、ガス放出後時間経過に従って増加するか、減少する傾向が見られる。既報<sup>4)</sup>では、ガス放出後1時間は放出ガスの拡散が不十分で、換気量の算定が難しいという知見を得ている。本報告では、それを上回る約3時間経過まで換気量の算定が困難という結果になった。

シリンダーの差圧から算定される通過風量と濃度測定解析による室間換気量の算定結果をTable 2に示す。なお、換気量算定結果は計算結果が安定してくる3~4時間経過後の1時間平均を用いている。

通過風量と室間換気量算定結果との相関をFig. 18に示す。差圧法を基準にして多種トレーサーガス法の結果は、20~30%の誤差範囲にあることが認められた。相当開口面積  $5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  のTest 5は他に比べて算定結果が低

めに得られた。換気量の増大に伴い、自然換気特有の極端な濃度むら(卓越主流域の存在)が対象室にできていたのではないかと推定している。また、4室モデルと5室モデルという2つの換気モデルを比較すると、全体的に見て5室モデルの方が大きめに計算され、精度的には4室モデルの方が良い結果となった。本結果のみで結論を出す訳にはいかないが、多数室の室間換気量の測定において、仮想連絡路を介するモデリングも有効であることが確認された。多種トレーサーガス法は、必ずしも室数に応じたトレーサーガスを必要とせず、測定対象室を限定した室間換気量の算定が可能である、と言うことが出来る。

## 8. おわりに

換気量既知の実大実験住宅を用いた多種トレーサーガス法の検定結果から次の知見を得た。



(1) 自然換気4種、機械換気2種、計6種の実験から多種トレーサーガス法の誤差範囲は概ね20～30%にあることが認められた。これは既報<sup>1)2)3)</sup>の2室モデル、3室モデルによる検討結果と大きな差異はない。

(2) 自然換気では、換気量の増大に伴い、極端な濃度むら(卓越主流域の存在)が生じやすいので、空間平均濃度を得るために更なる工夫が求められる。

(3) 多数室の室間換気量の測定に際し、仮想連絡路を介するモデリングによって、部屋数未満のトレーサーガス数で、限定された測定対象の室間換気量の測定が可能である。

#### 参考・引用文献

- 1) M. Enai, C.Y. Shaw, J.T. Reardon, 1990. "On the Multiple Tracer Gas Techniques for Measuring Interzonal Airflows in Buildings." ASHRAE Trans. AT-90-5-4(3370).
- 2) M. Enai, C.Y. Shaw, J.T. Reardon, R.J. Magee, 1990. "Multiple Tracer Gas Techniques for Measuring Interzonal Airflows for Three Interconnected Spaces." ASHRAE Trans. AT-90-5-2(3369).
- 3) M. Enai, N. Aratani, C.Y. Shaw, J.T. Reardon, 1993. "Differential and Integral Method for Computing Interzonal Airflows Using Multiple Tracer Gases." Proceedings of ISRAVE, ASHRAE(90363) pp. 357-362.
- 4) M. Enai, N. Aratani, C.Y. Shaw, 1993. "Measurement of Interzonal Airflows Using Multiple Tracer gas Techniques part-1." SHASE Trans. No. 51, pp. 15-17.
- 5) M. Enai, C.Y. Shaw, J.T. Reardon, N. Aratani, H. Kajii, F. Fukushima, 1998. "Measurement of Interzonal Airflows Using Multiple Tracer gas Techniques part-2." SHASE Trans. No. 72, pp. 117-127.

Table 2 Results obtained by differential pressure and those obtained by the tracer gas technique

Test	Method	LV	DK	BS	BN	Exhaust airflow rate
1	Differential pressure	-15.0	-14.7	14.4	14.7	
	Tracer gas technique (4-zone)	-12.3	-12.2	11.4	13.1	
	(5-zone)	-13.1	-12.0	12.0	13.0	
2	Differential pressure	-14.8	-14.6	14.6	14.7	
	Tracer gas technique (4-zone)	-18.1	-13.5	26.3	5.2	
	(5-zone)	-15.1	-13.2	4.3	24.0	
3	Differential pressure	-25.7	-26.5	-14.7	-14.5	81.4
	Tracer gas technique (4-zone)	-20.3	-39.3	-12.2	-14.4	86.3
	(5-zone)	-13.2	-34.3	12.3	11.8	71.5
4	Differential pressure	-25.7	-26.5	-14.6	-14.4	81.2
	Tracer gas technique (4-zone)	-35.2	-29.5	-12.7	-12.3	89.6
	(5-zone)	-19.0	-28.7	-9.9	-10.4	67.9
5	Differential pressure	-64.8	-64.8	63.2	63.6	
	Tracer gas technique (4-zone)	-41.4	-54.1	43.5	52.0	
	(5-zone)	-38.2	-53.1	37.7	52.5	
6	Differential pressure	-9.7	-8.8	8.0	8.5	
	Tracer gas technique (4-zone)	-7.1	-7.0	6.7	7.3	
	(5-zone)	-6.6	-7.1	7.0	6.6	

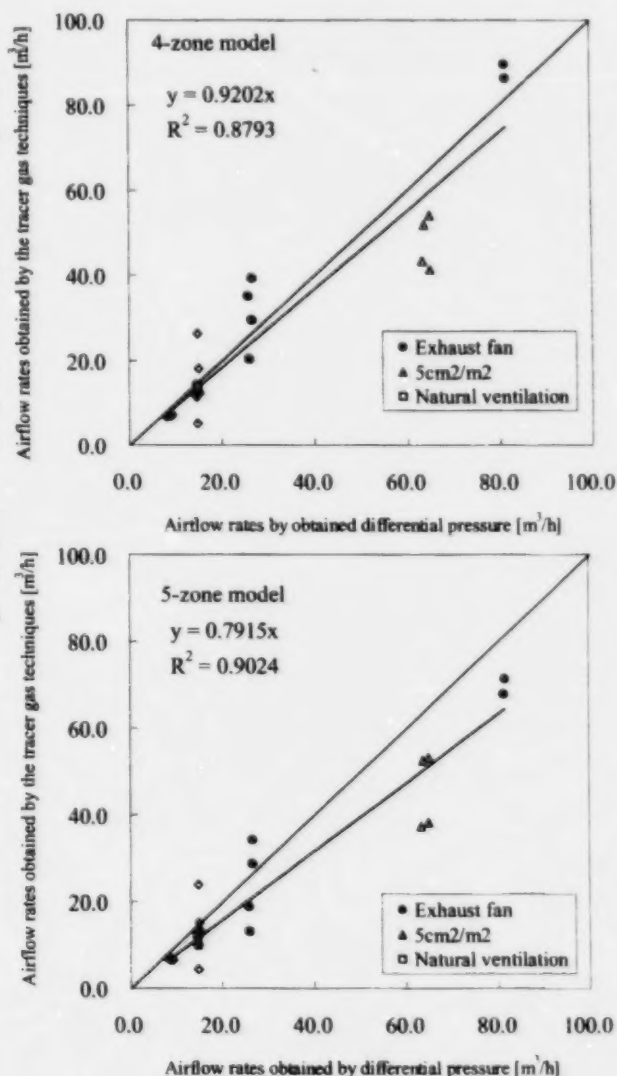


Fig. 18 Correlation between airflow rates measured by differential pressure and those obtained by tracer gas techniques

# Development of Heater/Dryer Unit with 24-hour Ventilation System

Tsuyoshi Takeda [Osaka Gas Co., Ltd.]

## • Introduction

While housing with high air tightness has a superior energy saving feature, it tends to have vapor condensation or air pollution in its rooms due to insufficient ventilation. To solve this problem, we have developed a product that has a heater/dryer system and a 24-hour ventilation system for the entire residence, all in one unit.

Here, we will report on this product's specifications and features, as well as its ventilation ability.

## • System Configuration

### Entire residence ventilation via a central exhaust method

An entire residence can be ventilated by a combination of integrated exhaust discharge from bathroom, dressing room, and toilet to outdoors, and decentralized air supply via each room's air inlet (See Fig. 1).

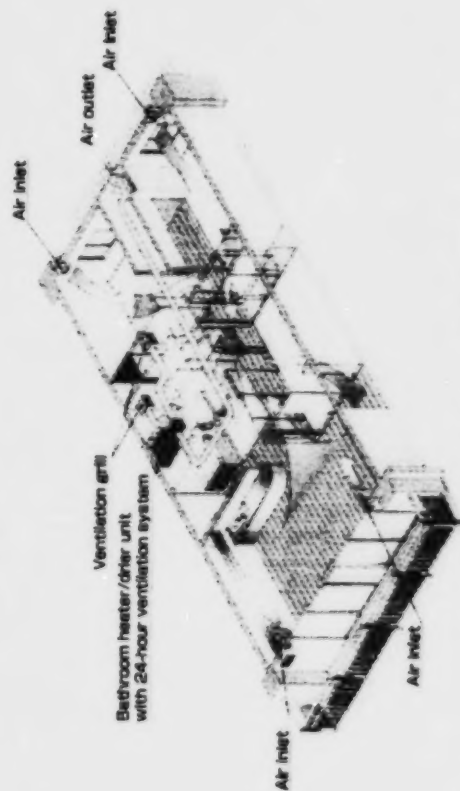


Fig. 1 Schema of System Configuration



Fig. 2 Photograph of the Unit

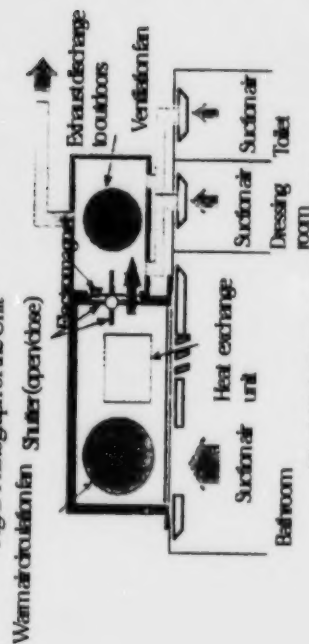


Fig. 3 Unit Component Configuration

## • Specifications

Unit dimensions (mm)	(H) 230 x (W) 530 x (D) 837
Weight (kg)	16.2
Appropriate housing for installing the unit	Equivalent exchange performance (CAV=1.7m <sup>3</sup> /min) Apartment house with a floor area of 100m <sup>2</sup> or less
Heating ability (kW)	...
24-hour unit	3 levels of 80, 100, and 120 are available.
Power consumption (W)	10 (Maximum 38)
Noise (dB (A))	28 (at 0Pa), 33 (at 40Pa), 38 (at 80Pa)

## ● Features

1 The ventilating air flow is controlled and kept at the specified level.

By detecting the ventilation motor rpm and voltage level and controlling air flow deviation from the specified level, a stable air flow can be obtained even when the pressures inside and outside of a residence deviate due to outdoor wind (See Fig. 4).

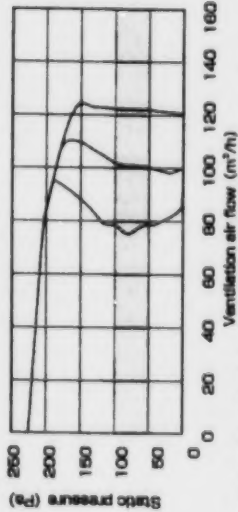


Fig. 4 Characteristic of Static Pressure—Air Flow (When operating the 24-hour ventilation system)

2 Influences from heat shocks are reduced by operating a bathroom heater system.

Temperature differences between bathrooms and living rooms are reduced in winter time by using the warm-air heating system. Thanks to this, stress applied to the human body due to heat shock is reduced (See Fig. 5).

3 The growth of mold is reduced by operating a bathroom dryer system.

By operating the ventilation and warm-air circulation systems simultaneously, a bathroom is dried quickly to a temperature which is hard for mold to grow at (See Fig. 6).

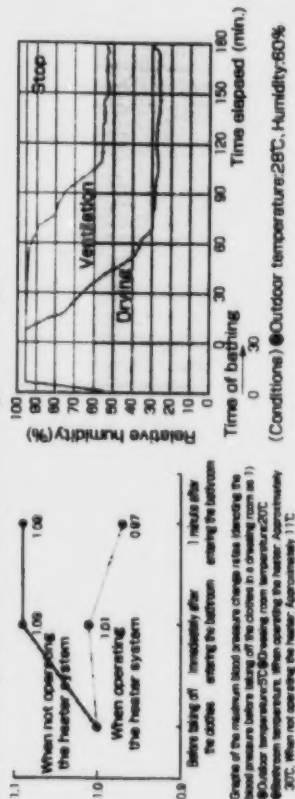


Fig. 5 Changes in Relative Humidity—Dependent on Bathroom Heater Status □ Fig. 6 Changes in Bathroom Humidity

## ● Ventilation Frequency Measurement Experiment

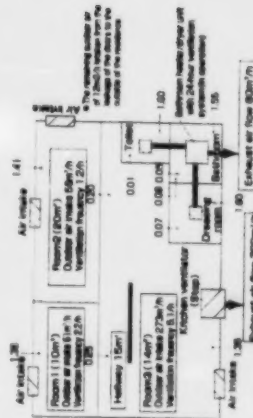
□ Specifications of the residence used for the experiment

Total floor area	67m <sup>2</sup>
Equivalent leakage performance	1.5cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Air inlet area	51cm <sup>2</sup> (per inlet)
Equivalent leakage area of a grill in living room	60cm <sup>2</sup>
Facility	Kitchen ventilator (Simultaneous air intake and exhaust type)

## Experimental results

1 This product's 24-hour ventilation operation

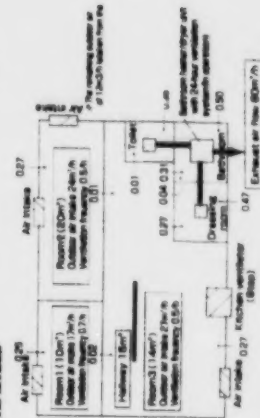
Ventilation was performed 0.5 times/h for each room properly.



Arrows and numbers in the figure indicate a differential pressure applied to the area from the arrow's start to end point

2 This product's 24-hour ventilation and kitchen ventilator ventilation operations

Since kitchen ventilator air intake is mostly performed in Room 3, air intake in Rooms 1 and 2 is not increased very much, thereby keeping the differential pressure between the inside and outside of the rooms small.



## 24時間換気機能付き浴室暖房乾燥機の開発

竹田 剛【大阪ガス(株)】

### ●はじめに

気密性の高い住宅は、省エネルギー性に優れている反面、換気不足による、住宅の結露や空気汚染などの問題が発生しやすい。そこで、住宅全体の24時間換気と、浴室の乾燥、暖房が1台でできる商品を開発した。  
今回は、本商品の仕様、特長、換気性能について報告する。

### ●システム構成

排気セントラル方式により住宅全体を換気

浴室、脱衣室、トイレの3室から屋外への集中排気と、各居室に設置した給気口からの分散給気を組み合わせることで、住宅全体の換気が可能(図1)

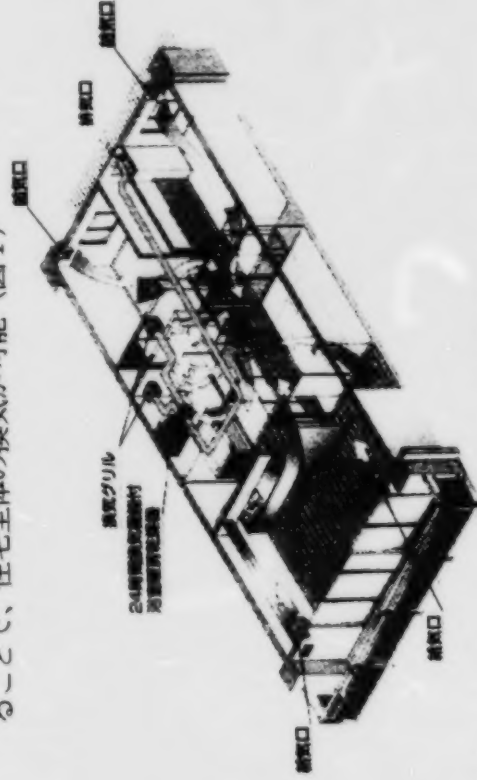


図1 システム概要



図2 本体写真

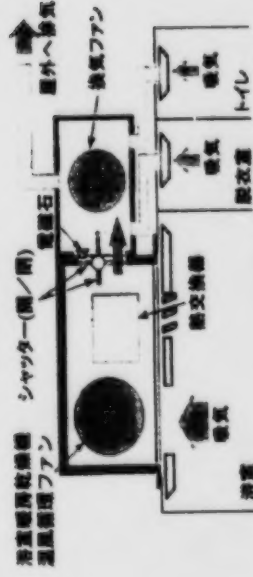


図3 機器構造

### ●仕様

本体寸法(mm)	高さ 230×幅 530×奥行 837
重量(kg)	16.2
設置対象住宅	相当すきま面積( $\alpha A'=1.7\text{cm}^2/\text{m}^2$ ) 床面積 100 $\text{m}^2$ 以下の集合住宅
暖房能力(kW)	3.3
24時間 風量( $\text{m}^3/\text{h}$ )	80/100/120の3段階切り替え
消費電力(W)	10 (最大 38)
換気 騒音(dB(A))	28(at 0Pa), 33(at 40Pa), 38(at 80Pa)

●換気回数測定実験  
・実験住宅の性能

延床面積	67m <sup>2</sup>
相当すきま面積	1.5cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
居室給気口面積	51cm <sup>2</sup> (1箇所)
扉下すきま面積	60cm <sup>2</sup>
設備	台所レンジフード(同時給排気方式)

●特長

- ①換気風量一定制御で、常に設定換気風量を確保
- ②換気モータの回転数と電圧を検出し、設定に対する偏差を制御すること、外風の影響で、室内外の圧力差に変動が生じて、常に設定風量での運転が可能(図4)

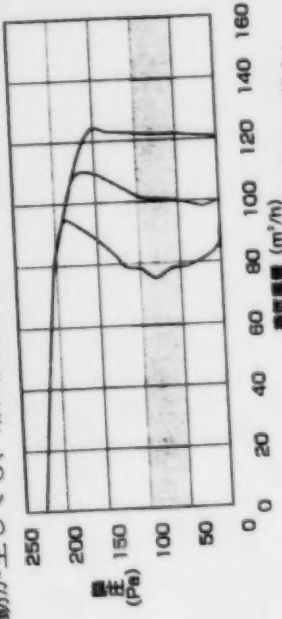


図4 静圧—風量特性 (24時間換気運転の場合)

- ③浴室暖房運転でヒートショックを軽減
- ④浴室暖房により、冬場における、浴室と居室の温度差を低減し、ヒートショックによる身体的負担を軽減(図5)
- ⑤浴室乾燥運転でカビの発生を抑制
- ⑥換気と温風循環の同時運転により、浴室を乾燥させ、カビの発生が困難な湿度に、短時間で到達(図6)

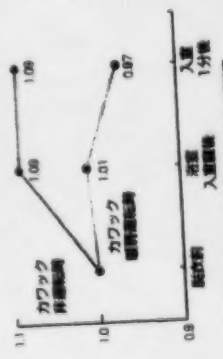


図5 浴室暖房の有無による  
血圧値の変化

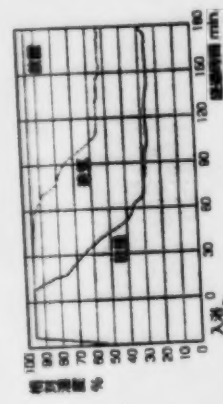
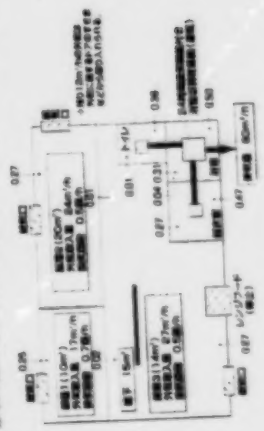


図6 浴室内の湿度変化  
(条件) ①外気温25℃、湿度60%

●実験結果

- ①開発品での24時間換気運転  
各室とも換気回数0.5回/h程度と、バランス良く換気



- ②開発品での24時間換気運転+台所レンジフード運転  
レンジフードの給気の大部分は、部屋3から行うので、部屋1、2の給気増加量は少なく、室内外差圧も小さい

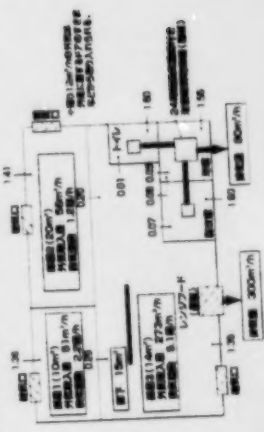


図7 換気風量と数値は、矢印の元から先にかかる差圧をしめす

図8 換気風量と数値は、矢印の元から先にかかる差圧をしめす



## Performance Assessment of Air Barrier Systems

Bruno Di Lenardo, Canadian Construction Materials Centre, Institute for Research in Construction, NRC  
Harunobu Murakami, Housing Bureau, Ministry of Construction of Japan

### Introduction

The 1995 National Building Code of Canada (NBC) requires that an 'air barrier system' be installed in buildings to control air leakage. An air barrier 'system' is an assembly of materials, components and accessories designated to perform the function of controlling air leakage across the building envelope. The air leakage performance requirements set in the NBC are for the opaque (insulated) portion of the exterior assembly while in Japan (under the Law concerning the Rational Use of Energy) the air leakage criteria is set as whole-house 'equivalent leakage area'.

To meet the intent of the NBC, the air barrier system must be:

- 1) adequately airtight, 2) continuous through the building envelope, 3) structural to resist air pressure (wind) loads, 4) be durable in the service environment; and 5) be buildable in the field.

However, there is no specified approach in the NBC for verifying compliance of the air barrier 'system' performance. Based on requests from industry, the Canadian Construction Materials Centre, with IRC research, developed a CCMC Technical Guide which outlines the required 'system' air leakage performance and the test protocol to verify compliance. This guide is used by CCMC for the evaluation of proprietary air barrier systems.

### CCMC Technical Guide

The CCMC Technical Guide specifies the air leakage rating that must be achieved in Table 1. This table was developed by

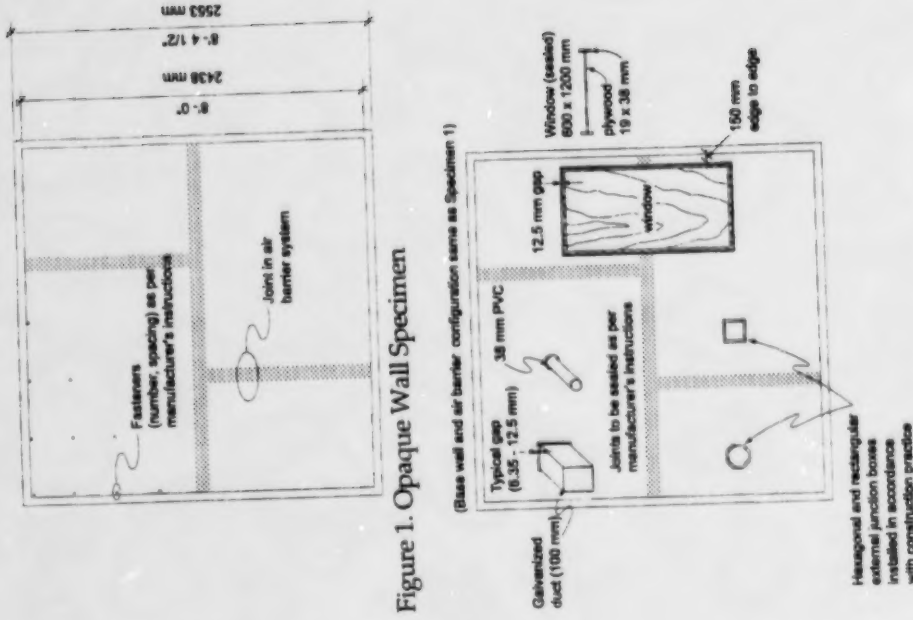


Figure 1. Opaque Wall Specimen

Figure 2. Specimen with Penetrations

**Performance Assessment of Air Barrier Systems (continued)**  
computer modeling of 68 wall configurations for 3 Canadian climates.

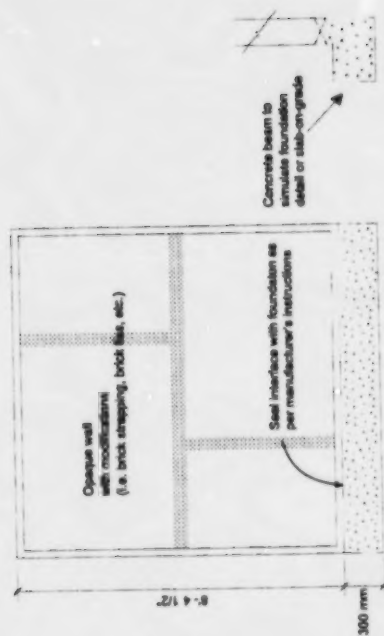
The air leakage rate must be met by the principal air barrier material in the opaque (insulated) portion of the exterior wall where the risk of condensation is most critical. Three full-scale wall specimens, representative of field construction, must be tested to verify compliance as in Figures 1 to 3. Specimens 2 and 3 are to verify continuity at penetrations and at the foundation connection where the airtightness must be maintained.

Prior to air leakage testing the specimens undergo sustained, 2000 cyclic and a gust wind loading as in Figure 4, to verify structural capacity of the system. The load level is set based on the maximum design wind load for the system.

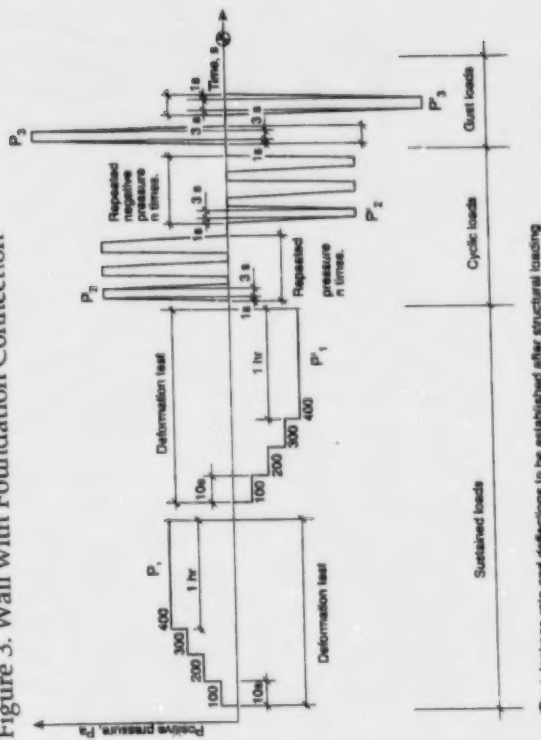
In addition, the CCMC Guide requires deflections be measured and durability (small-scale) tests be conducted for compliance. Finally, the air barrier system must be installed in accordance with the evaluated installation manual.

**Table 1. Permissible 'System' air leakage rates for respective drying potential of wall.**

Water Vapour Permeance (WVP) of Outermost (Non-Vented) Layer of Wall Assembly $N_g / (Pa \cdot s \cdot m^2)$	Maximum Permissible Air Leakage Rates $L / (s \cdot m^2)$ at 75 Pa
$15 < WVP < 60$	0.05
$60 < WVP < 170$	0.10
$170 < WVP < 800$	0.15
$> 800$	0.20



**Figure 3. Wall with Foundation Connection**



**Figure 4. Schedule for Application of Wind Loads**

# Performance Assessment of Air Barrier Systems

B. Di Lenardo  
Canadian Construction Materials Centre  
Institute for Research in Construction  
National Research Council of Canada

Harunobu Murakami  
Housing Bureau  
Ministry of Construction of Japan  
Japan

## Introduction

### *The Canadian Situation*

The 1995 National Building Code of Canada (NBC) contains requirements for 'air barrier systems' which acknowledges that air movement is a dominant factor in the transport of moisture through building envelope assemblies. The 'air barrier system' is the assembly of materials and accessories installed to provide a continuous barrier to air leakage through the building envelope. Many problems concerning inadequate building envelope performance and deterioration can be attributed to inadequate or failed air barrier systems. In the past, the NBC Committee expressed a need for a document that could be referenced to verify compliance to the Code. Industry similarly expressed a need to the Canadian Construction Materials Centre (CCMC), Canada's national evaluation service. There was a definite need to develop a universal performance-based approach for evaluating an air barrier system which led to the development of CCMC's Technical Guide for the assessment of air barrier systems.

### *Clarification — Air Leakage of Air Barrier System vs. Whole-House Air Leakage Values*

This paper outlines the expected air leakage performance of air barrier systems which has no correlation to whole-house air leakage values. The whole-house air leakage values, used in both Canada and Japan, are reported as an 'equivalent leakage area ( $\text{cm}^2$ )' per ( $\text{m}^2$ ) of building envelope area (reference is to floor area in Japan). The whole-house air leakage values are set as energy conservation targets and for sizing heating/cooling/ventilation equipment. The whole-house air leakage value captures the leakage through walls, windows, doors and other penetrations of the building envelope. However, the air leakage performance of an air barrier system is only for the opaque (insulated) portion of the building envelope. Therefore, the air leakage performance imposed on an air barrier system attempts to ensure a diffused airflow through the air barrier materials within the opaque (insulated) portion of the wall where risk of condensation becomes critical.

## NBC Air Barrier System Requirements

### *Background*

The NBC requirements are greatly based on research that was initiated some 30 years ago and it is now known that the air barrier system is fundamental to the requirements concerning the control of air, heat and water vapour flows. It also plays an important role in the control of rain penetration and external noise transmission.

To meet these requirements, the air barrier system of an exterior wall must meet the following 5 performance expectations: 1) it must be constructed of materials that are adequately airtight, 2) it must be continuous through the building envelope, 3) it must be strong enough to resist the air pressure (wind) loads imposed on it, transfer these loads to the building structure and have enough rigidity or support so that deflection under load is accommodated in the specific wall design, 4) it must be durable enough to provide the necessary performance in the service environment anticipated and 5) it must be buildable in the field.

### *Present NBC Situation — Material Requirements*

Consistent with the first performance expectation listed above, the NBC specifies that the 'material' that provides the principal resistance to air leakage within the air barrier system is required to have an average leakage characteristic not greater than  $0.02 \text{ L/(s}\cdot\text{m}^2)$  at 75 Pascals (Pa) pressure difference. This air leakage rate at 75 Pa is not intended to represent typical leakage of the material *in situ*, the reference pressure difference of 75 Pa is merely used to characterize a material property. The NBC then specifies that the air barrier system must also be continuous across all joints and penetrations through an assembly and at junctions with other assemblies.

The NBC outlines in the Appendix a list of certain materials (i.e. polyethylene sheet, panel products, etc.) which can be considered as suitable materials within an air barrier system. The Housing Code in Japan (under the Law concerning the Rational Use of Energy) provides similar direction in outlining materials that may be installed as the airtight element and also prescribes the required continuity of these materials to meet the airtightness requirements.

### *Air Barrier 'System' Requirements*

The NBC code committee responsible for air barrier system requirements recognized that the present code requirement was inadequate. Ideally, the maximum air leakage rate of the air barrier system (not just the material specification) should be specified since the NBC requires that an 'effective' air barrier system must be constructed. This led to the need for an air barrier system evaluation approach to confirm 'system' performance (i.e. collection of materials and joining accessories under structural loads).

## **CCMC Technical Guide for Performance Assessment of Air Barrier Systems**

### *Objective*

CCMC Technical Guides contain test protocols and evaluation criteria to be used by CCMC for product evaluation. In the development the CCMC Technical Guide for air barrier systems a research team was charged with identifying the necessary test procedures, protocols and acceptance criteria. First, the air leakage rates that were previously published by IRC in 1986, as proposed values, had to be verified for various locations in Canada and for various wall configurations (of various materials and properties). Once permissible air leakage rates would be set as the definitive criteria, a consistent approach for the measurement of the air leakage rate of air barrier systems had to be formalized in a test procedure. This test procedure would be used to establish the air leakage 'rating' of the system at the standard reference pressure of 75 Pa. For structural assessment, the air barrier system would have to resist the wind loads that it may be exposed to during its service life. A research team needed to characterize the anticipated wind loads within a test procedure. Subsequently, once an air barrier system was deemed acceptable, it had to be confirmed that the materials of the system were durable. A protocol had to be established to account for UV degradation during construction and aging mechanisms that occur within the wall assembly during the life of the building. The air barrier system components and accessories had to maintain their strength properties as well as the air permeance properties over time.

### *Permissible Air Leakage Rates*

The most important function of a wall air barrier system is to control the flow of air into and through a wall, so that: i) condensation is rare or the quantities of water accumulated are small, and ii) drying is rapid enough to avoid the deterioration of materials or the growth of molds and fungi, which are not only health concerns but also agents of deterioration.

Determining the relationship between air leakage and moisture accumulation requires complex mathematical analysis. A study was carried out by IRC and the Technical Research Centre (VTT) in Finland, using a jointly developed computer model, to evaluate the effect of various parameters (air leakage, water vapour permeability, weather, insulation levels, geographical location and wall orientation) on the amount of condensation that is likely to occur inside a typical wood-frame wall

assembly. The climates of Edmonton, Halifax and Ottawa were simulated and 68 wall configurations were modeled for moisture accumulation.

The CCMC evaluation criteria consider both moisture collection potential and energy conservation to define the maximum allowable air leakage rate. Modeling of air barrier systems and typical indoor humidity levels of up to 35 percent at 21°C resulted in the maximum system air leakage rates shown in Table 1.

**Table 1. Permissible 'System' air leakage rates for respective drying potential of wall.**

Water Vapour Permeance (WVP) of Outermost (Non-Vented) Layer of Wall Assembly Ng/(Pa·s·m)	Maximum Permissible Air Leakage Rates L/(s·m) at 75 Pa
15 < WVP < 60	0.05
60 < WVP < 170	0.10
170 < WVP < 800	0.15
> 800	0.20

This Table 1 of air leakage rates shows that as the drying potential of the wall, directly linked to the WVP of the outermost layer of the wall, increases so does the permitted air leakage rate of the air barrier system. The maximum permissible air leakage rate of 0.2 L (s·m) at 75 Pa was not set based on moisture accumulation but rather to control energy flow through the wall to a level acceptable to the Model National Energy Code for Buildings. (Note that these 'system' air leakage rates are up to 10 times greater than that specified for air barrier 'materials' in the NBC)

#### *Air Leakage Test Procedure*

The air leakage tests are conducted over a spectrum of loadings up to 500 Pa and not merely those rates recorded during a single test at 75-Pa pressure difference. A particular test sequence is specified for three test specimens. Air leakage data are derived from the opaque wall tests (see Figure 1) which are conducted after structural-loading tests (discussed below). The air leakage data points are then shown on a graph plotting air leakage versus pressure and a linear regression is conducted. The value at 75 Pa is only accepted if the air barrier assembly has also provided good performance at higher pressures. In addition, to verify the continuity of the air barrier system, the air leakage of those test specimens with penetrations through or connections to other elements (see Figures 2 and 3) must not exceed the air leakage of the opaque wall by more than 10 percent. Thus, appropriate air leakage behaviour for all three specimens with no more than 10% variability constitutes the CCMC acceptance criteria if the air leakage rate falls within the permissible rates of Table 1.

The test specimens have to be constructed in accordance with the field delivery system intended by the proponent of the system. Air barrier systems that would be sold as 'commodity-type' components to be erected by any third-party would have test specimens constructed by a third-party with no prior knowledge of the system. While systems conceived and developed to be delivered by trained and licensed installers would have these trained personnel construct the specimen.



Specimen 1 - Opaque Wall

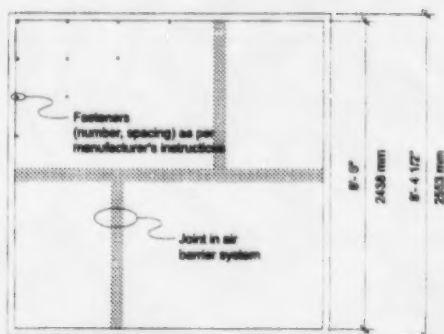


Figure 1. Opaque Wall Specimen

Specimen 2 - Continuity at Penetrations

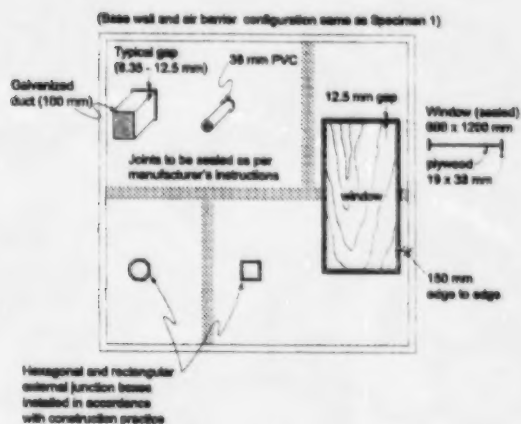


Figure 2. Specimen with Penetrations

Specimen 3 - Foundation interface and opaque wall (with modifications)

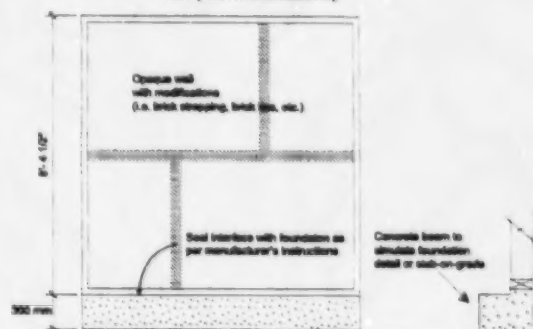


Figure 3. Wall with Foundation Connection

## Structural Capacity

A wall system is subjected to lateral air pressure loads created by stack forces, mechanical equipment forces, and wind. Stack forces and mechanical forces can be characterized as being relatively low in magnitude but long in duration; whereas wind forces may be temporary but are much higher in magnitude. Because the air barrier system is by definition the most airtight plane in the wall the designer has to assume that the air barrier system must be able to resist and transfer the full wind pressure to the building structure without damage to the air barrier system or other components of the wall system.

## Structural Loading Requirements

To evaluate the structural capacity of the air barrier system specimens in relation to expected wind loads, the specimens are tested for sustained, cyclic and gust loadings. The pressures for these tests shown in Table 2 are established in accordance with the 1-in-10-year return wind pressure for the geographical area in which the wall will be situated.

**Table 2.** Wind pressures for the 1-in-10-year ( $Q_{10}$ ) return wind load

For Geographical Areas Where Wind Design Value is	$P_1, P_1'$ Sustained for 1 h (Pa)	$P_2, P_2'$ 2000 Cycles <sup>1</sup> (Pa)	$P_3, P_3'$ Gust Wind (Pa)
$Q_{10} < 0.40$ kPa	400	530	800
$Q_{10} < 0.60$ kPa	600	800	1200

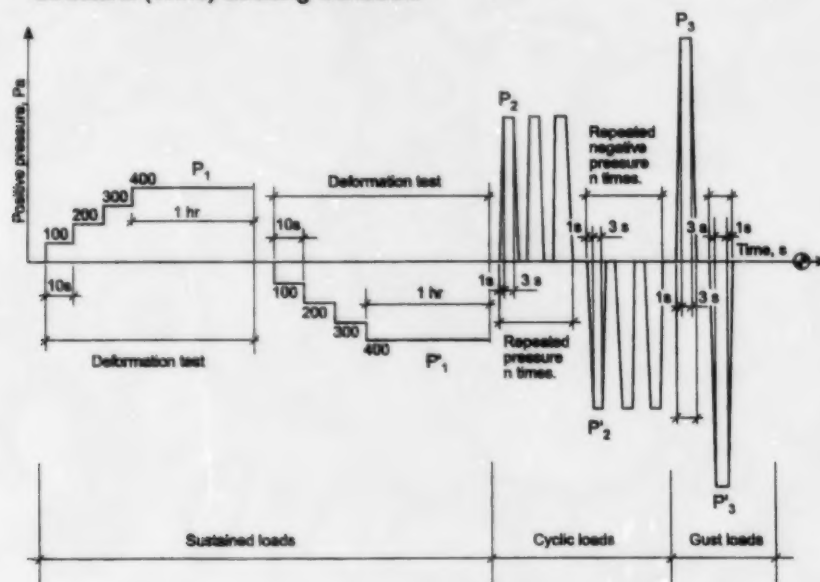
1. The 2000 cyclic loads could be applied in four stages of 500 cycles, reversing from positive to negative pressures; or in two stages of 1000 cycles, reversing from positive to negative.

The wind loads are applied according to the schedule in Figure 4 and the test pressures and cycles are thought to be representative of the wind pressures and fatigue on the air barrier associated with two or three major storms which any building would likely experience during a 10-year period. The material providing the principal plane of airtightness of the air barrier system need not rely on its own strength to resist these structural loads. Any proprietary air barrier system must identify both the plane of airtightness component and its structural components, such as substrates and fastenings, which are part of the 'system.'

### Deflection Requirements

Deflection of the air barrier system is measured as it can: i) place wind loads on surfaces that were not designed to support them, ii) displace other materials in the wall system, and iii) result in tension loads in the membrane (or joints) and affect its long-term service life. With the CCMC evaluation procedure, the deflection at 1.5 times the design wind load is measured and reported.

#### Structural (Wind) Loading Schedule



⊗ air leakage rate and deflections to be established after structural loading

Figure 4. Schedule for Application of Wind Loads

## ***Durability***

The durability of an air barrier system depends on compatibility with adjacent materials and the loads to which it is subjected over its service life. The factors in the local environment that can play a role include temperature, moisture, solar radiation, electrochemical factors, and biologically active material. The CCMC evaluation criteria address durability by evaluating each material according to standard tests that simulate aging, climate and repeated use. Accelerated-aging protocols for UV and heat-aging have been produced for the CCMC Technical Guide, and acceptance criteria have been set based on 85% residual strength for the strength parameters and no more than 10% increase in air permeance after accelerated aging for the materials forming the principal plane of airtightness.

## **Conclusion**

CCMC's Technical Guide was developed to assess the entire air barrier system as a product that can be composed of a number of materials, accessories or assemblies. Manufacturers are now in a position to produce materials and systems and verify compliance to the NBC. Air barrier systems that are evaluated by CCMC in accordance with the requirements of the Guide can be deemed to meet the requirements of the NBC if all materials used in the system have been installed properly in the field so that they perform as evaluated. The system is to be installed in accordance with the evaluated installation manual, and the application must be within any limitations defined by the CCMC evaluation.

カナダ国立研究機構建築研究所カナダ建築資材センター

ブルノ・ディ・レナド

日本国建設省住宅局 (NRC派遣)

村上 晴信

はじめに

カナダ建築基準1995(NBC)は、空気漏洩を制御するため建築物に据え付けられる「エア・バリア・システム」についての基準を規定している。エア・バリア・「システム」は建築物の外壁部を透過する空気漏出を制御するよう設計された材料、部品及び付属品の集合体を意味する。空気漏洩性能の基準はNBCに規定されており、それは建物の外壁で中を直接目にすることができない(不透明壁)(断熱されている)部分向けのものである。なお、日本では「エネルギー使用の合理化に関する法律」に基づく空気漏洩基準として、住宅全体についての「相当隙間面積」が設定されている。

NBCに適合するために、エア・バリア・システムは、1)適切な気密性、2)建物外壁全体の連続性、3)気圧(風)荷重に耐える構造的性、4)供用環境における耐久性、5)現場の施工容易性、の5項目を満足する必要がある。

しかしながら、NBCにはエア・バリア・システム性能に関する適合性を確認するための特定手法が存在していない。産業界からの要請に基づき、カナダ建築資材センター(CCMC)は、カナダ国立研究機構建築研究所の研究をもつて、その適合性確認のために必要な空気漏洩性能のシステム基準と試験方法を示したCCMCテクニカル・ガイドを整備した。このガイドはエア・バリア・システムの特性評価に関してCCMCが使用しているものである。

CCMCテクニカルガイド

CCMCテクニカル・ガイドでは、表1の通りに達成されなければならない空気漏洩度を特定している。同表はカナダ国内の3地域について、68種に及ぶ壁構造のコンピュータ・モデル化により整備された。

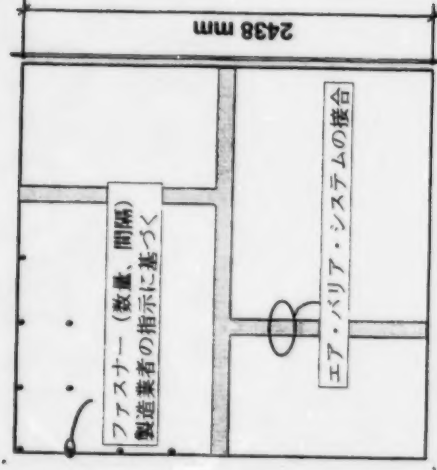


図1 不透明壁見本

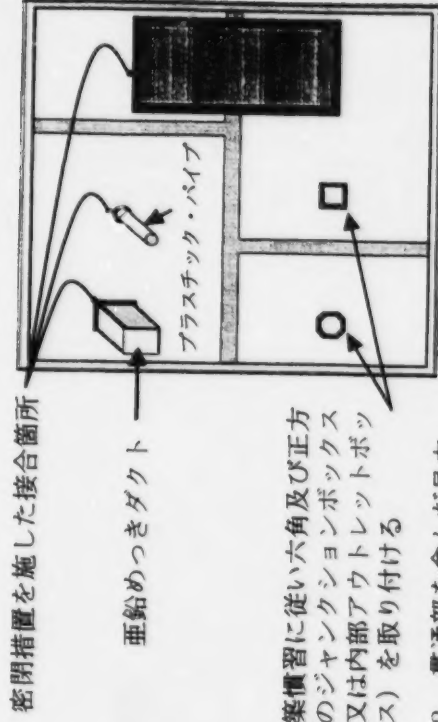


図2 貫通部を含んだ見本

# エア・バリア・システムの性能評価 (続き)

結露の危険性が最も大きいところの外壁で、中を直接目にする  
ことができない (不透明壁) (断熱されている) 部分に使用され  
ている主要なエア・バリア材は、この空気漏洩率に適合する必要  
がある。現場施工を代表し、図 1 ~ 3 の通り、3 つの実大壁見本  
(標本) が適合性確認のため試験された。見本 (標本) 2 及び 3 は  
気密性が維持される必要のある貫通部と基礎との接続部の適合性  
を確認するためのものである。

空気漏洩試験の前には、図 4 のように、見本 (標本) は継続的、  
周期的及び突風の風荷重を受けることとなる。荷重レベルはその  
システム向けの最大設計風荷重に基づいて設定されている。

また、CCMC テクニカル・ガイドはたわみの計測、(小標本で  
の) 耐久性の試験を適合性のために実施するよう要求している。  
最後に、エア・バリア・システムは評価済み設置マニュアルに従  
って施工されなければならない。

表 1 壁内乾燥度合に対する「システム」許容空気漏洩率

壁体で最も外側の層 (通気口なし) の水 蒸気浸透性能 (WVP) $\text{NG}/(\text{Pa} \cdot \text{秒} \cdot \text{m}^2)$	最大許容空気漏洩率 75 Pa での $\text{L}/(\text{秒} \cdot \text{m}^2)$
$15 < \text{WVP} \leq 60$	0.05
$60 < \text{WVP} \leq 170$	0.10
$170 < \text{WVP} \leq 800$	0.15
$> 800$	0.20

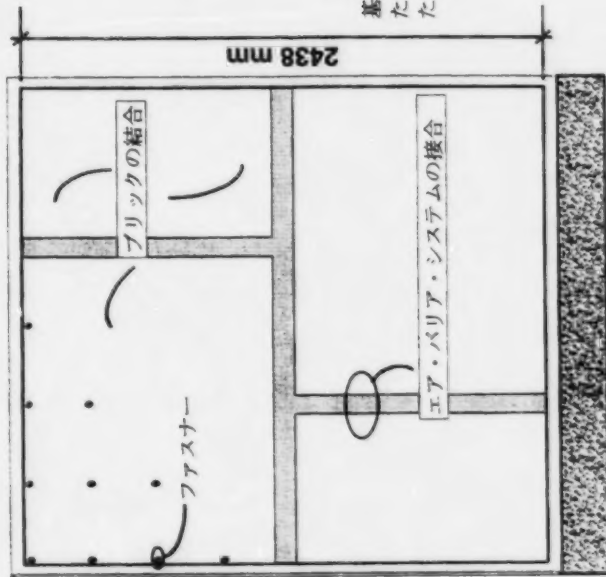


図 3 基礎に接続した壁

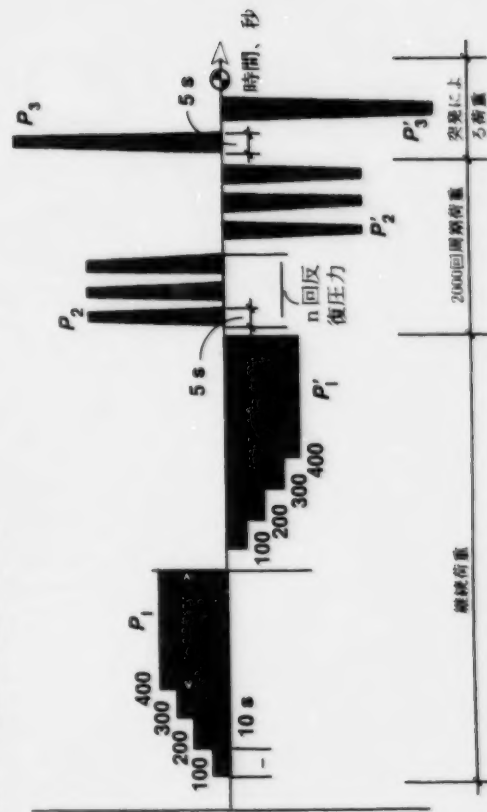


図 4 構造荷重の後に測定された空気漏洩率とたわみ



# エア・バリア・システムの性能評価

Bruno Di Lenardo

カナダ国立研究機構 (NRC)

建築研究所 (IRC)

カナダ建築資材センター (CCMC)

村上 晴信

日本国建設省住宅局

(NRC 派遣)

## 1. はじめに

### 1.1 カナダの状況

カナダ建築基準 1995 (NBC) では、床及び屋根天井を含む建築物外壁全体を湿気が透過する際、空気の流動が主要な要因であると認められることから、「エア・バリア・システム」に関する基準を規定している。「エア・バリア・システム」とは、外壁部を透過する空気漏出に対し気密の連続性を有するよう施工に用いられる材料及び部品の集合体を意味する。外壁部の不十分な性能や老朽化に関する多くの問題が、不適切又は欠陥のあるエア・バリア・システムの原因となっている。過去において、カナダ建築基準委員会 (NBC 委員会) は、基準の適合性を確認するための参照書類が必要であることを提言した。産業界もカナダ連邦政府系評価サービス機関であるカナダ建築資材センター (CCMC) に対し同様の必要性を唱えていた。すなわち、カナダではエア・バリア・システムに関する評価について普遍的な性能基準アプローチを整備すべきという明確な必要性が存在していたのであり、これによりエア・バリア・システムに関する CCMC テクニカル・ガイドが整備されるに至った。

### 1.2 エア・バリア・システムの空気漏洩と住宅全体の空気漏洩量の関係

本報はエア・バリア・システムにおいて予想される空気漏洩性能について述べるものであり、この空気漏洩性能は住宅全体の空気漏洩量とは何ら関係ない。カナダおよび日本の両国で適用される住宅全体の空気漏洩量は、床・屋根天井等を含めた外壁単位面積当り (日本では床単位面積当り) の「隙間相当 (漏洩) 面積 ( $\text{cm}^2/\text{m}^2$ )」として示される。住宅全体の空気漏洩量は、省エネルギーの目標として、また、暖房、冷房又は換気装置の大きさを考慮する目的で設定される。また、この空気漏洩量には、壁、窓、ドア又はその他建物外壁部の透過漏洩が含まれるが、エア・バリア・システムの空気漏洩性の対象となるのは、建物外壁で中で直接目にすることができない (不透明壁の断熱されている) 部分だけである。そのため、エア・バリア・システムに課される空気漏洩性能とは、結露の危険性の高い目に見えない壁体内部 (断熱されている) 部分においてエア・バリア材を透過する拡散空気の流れを確認しようとすることと言える。

## 2. カナダ建築基準 (NBC) におけるエア・バリア・システムの基準

### 2.1 背景

NBC の基準は 30 年前に始められた研究に基づきくところが大きく、現在、エア・バリア・シス

テムの基準は空気、熱および水蒸気の制御に関する基礎として知られている。また、NBC の基準は雨の浸透や外部騒音の伝達制御に重要な役割を果たしている。

これらの基準に適合させるために、外壁部のエア・バリア・システムは、1) 十分な気密性を持つ資材で構成されていること、2) 建物外壁で連続性を有していること、3) システムにかかる風（気圧）荷重に耐える十分な強度を持ち、その荷重を建物構造体に伝達させ、また、荷重によるたわみが特定の壁体仕様に吸収されるように十分な強度又は支えを持つこと、4) 予想されるサービス環境で必要な機能を果たす十分な耐久性を持つこと、5) 建設現場で据え付けが可能であること等、計5つの期待性能が要求される。

## 2.2 カナダ建築基準の現状—材料の基準

前述 1) の期待性能と整合性を有するため、NBC では、エア・バリア・システム内の空気漏洩に対し主な耐性機能を果たす「材料」の平均漏洩性能を 75 パルカル (Pa)の圧力差で  $0.02 \text{ L}/(\text{秒} \cdot \text{m}^2)$  以下と規定している。75Pa での空気漏洩率は、本来の場所における材料の典型的な空気漏洩率ではない。75Pa という参照圧力差は単に材料特性を表すために使われているに過ぎない。また、NBC では、エア・バリア・システムが全ての継目や部品間の接合部において空気連続性を有しなければならないと規定している。

NBC の付録では、エア・バリア・システム内で使用する材料として適切とされる資材一覧（ポリエチレン・シート、パネル製品など）を示している。日本の「エネルギー使用の合理化に関する法律」に基づく住宅基準も、気密材の要素となりうる材料の概要を示しているとともに、気密性に関する基準の適合のためには材料の連続性が必要であることも規定している。

## 2.3 エア・バリア「システム」の基準

エア・バリア・システムの基準を所掌する NBC 委員会は、現在の基準は不十分と認めている。NBC が「効果的なエア・バリア・システム」の施工を必要としている以上、理想としては（材料の仕様ではなく）エア・バリア・システムの最大空気漏洩率を指定すべきであるとしている。これにより、「システム」性能（すなわち、構造荷重を考慮した材料及び接合部品の集合）を強固にするため、エア・バリア・システムの評価を試みる必要性が生じた。

## 3. エア・バリア・システムの性能評価に関する CCMC テクニカル・ガイド

### 3.1 目 的

CCMC テクニカル・ガイドは、CCMC が製品評価のため使用する試験プロトコール及び評価基準で構成される。エア・バリア・システムの CCMC テクニカル・ガイドの開発において、必要な試験手順、プロトコール及び承認基準の確認について研究班が設置されその依頼を受けた。まず、提案数値として 1986 年に IRC が公表した空気漏洩率について、カナダ国内の様々な地域及び多種の壁構造（様々な材料及び特性）に関して確認の必要があった。一度、許容空気漏洩率が確定値として設定されると、エア・バリア・システムの空気漏洩率の測定において一貫した手法が取られるよう、

試験手順を策定する必要があった。この試験手順は、75Pa の標準参照圧力でシステムの空気漏洩度確定のために使われる。構造評価については、エア・バリア・システムは建物供用期間に曝される風荷重に耐えうる必要性があると言える。このため、研究班は試験手順内に予想される風荷重の特性を示す必要があった。結果として、エア・バリア・システムが許容範囲であるためには、システムの材料が十分な耐性を持っているか確認する必要があった。また、施工期間中の UV (紫外線) 劣化及び建物供用期間に壁体内で起こる老朽メカニズムを考慮してプロトコールを策定する必要もあった。さらに、このエア・バリア・システムの構成材及び部品は、時間経過による空気浸透特性に加え、強度特性を維持するものでなければならなかった。

### 3.2 許容空気漏洩率

壁のエア・バリア・システムの最も重要な機能は、壁の内部および壁を通過する空気の流れを制御することである。それにより、i) 結露もしくは水分の蓄積量の減少、ii) 人体への影響要因及び劣化の媒介となるカビや菌類の発生並びに材料劣化を防ぐに十分な乾燥性能、などが期待できる。

空気漏洩と水分蓄積の関係を決定づけるには、複雑な数学的分析が必要となる。IRC とフィンランドのテクニカル・リサーチ・センター (VTT) が共同でコンピュータ・モデルを開発し、典型的な木造枠組壁内部で発生しやすい結露の量に関して種々のパラメータ (空気漏洩、水蒸気の浸透率、天候、断熱レベル、地理的位置および壁の方向) を用いて、その影響評価をした。エドモントン、ハリファックス、オタワの天候をシミュレートするとともに、壁体内水分の蓄積のため、68 種の壁構造がモデル化された。

CCMC の評価基準は、水分蓄積量と省エネルギーの両方を考慮し、最大許容空気漏洩率を明らかにしている。エア・バリア・システムと 21℃で 35%の典型的な屋内湿度レベルのモデル化により、表 1 に示すシステムの最大空気漏洩率が得られた。

表 1 壁内乾燥度合に対する「システム」許容空気漏洩率

壁体で最も外側の層 (通気口なし) の 水蒸気浸透性能 (WVP) NG/(Pa・秒・m <sup>2</sup> )	最大許容空気漏洩率 75 Pa での L/(秒・m <sup>2</sup> )
15<WVP<60	0.05
60<WVP<170	0.10
170<WVP<800	0.15
>800	0.20

表 1 の空気漏洩率が示していることは、壁体で最も外側の層の水蒸気浸透に直接関係して、壁の乾燥能力が増すに連れ、エア・バリア・システムの許容空気漏洩率も増大することである。75Pa で 0.2 L/(秒・m<sup>2</sup>)の最大許容空気漏洩率は、水分蓄積をベースとした設定ではなく、むしろ建築に関するカナダエネルギーモデル基準の承認レベルで壁を透過するエネルギーを制御することに基づいている。(なお、これらの「システム」空気漏洩率は、最高で NBC で指定するエア・バリア「材料」の 10 倍である。)

### 3.3 空気漏洩試験方法

空気漏洩試験は荷重範囲 500Pa まで実施されるものであり、その結果は圧力差 75Pa での単一試験で記録されるものではない。また、試験は3つの見本（標本）に関してそれぞれ行われ、結果が求められる。空気漏洩データは、構造荷重試験（下に詳述）の後で行なわれる内部が見えない壁（不透明壁）試験（図1参照）から得る。空気漏洩と圧力の関係を描くグラフにデータをプロットし、線形回帰を行う。75Pa での数値は、エア・バリア部材等の集合体も同様に高圧力下で良い性能を呈する場合のみ受け入れられる。さらに、エア・バリア・システムの連続性を実証するためには、貫通部もしくは他の部品との接合部を有する標本（図2、3を参照）試験も必要で、それらの結果は図1の見本（標本）の空気漏洩を10%超えてはならない。それゆえ、空気漏洩率が表1で示す許容率範囲内におさまる場合、3つの標本に関する適切な空気漏洩率は10%以内に収まることをもって、CCMCの承認基準を満たすこととなる。

また、試験見本（標本）はシステム提案者が意図する現場搬入システムに従って施工されなければならない。エア・バリア・システムは、第三者に「商品タイプ」の部品として販売されるものの中から選ばせ、そして、そのシステムについての予備知識を持たない第三者が施工した見本（標本）で試験を行うものとする。一方、熟練し、免許を持つ据付け業者によってシステムが搬送できる状態まで確認・整備される場合は、それらの据付け業者によって見本（標本）は作製される。

見本1－不透明壁

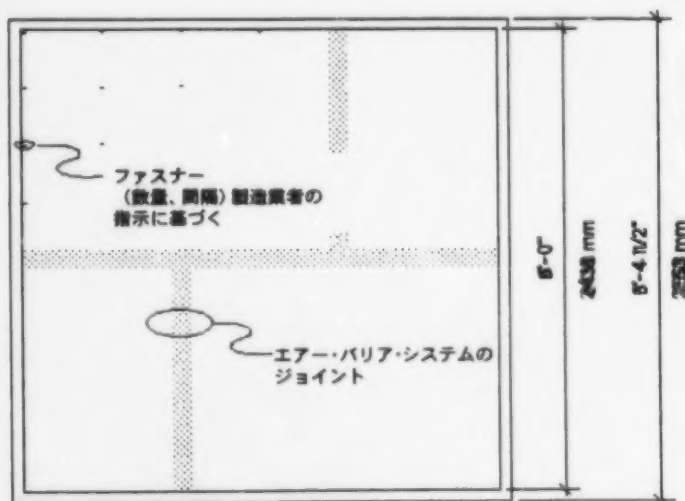


図1 不透明壁見本

## 見本 2 - 貫通部での連続性

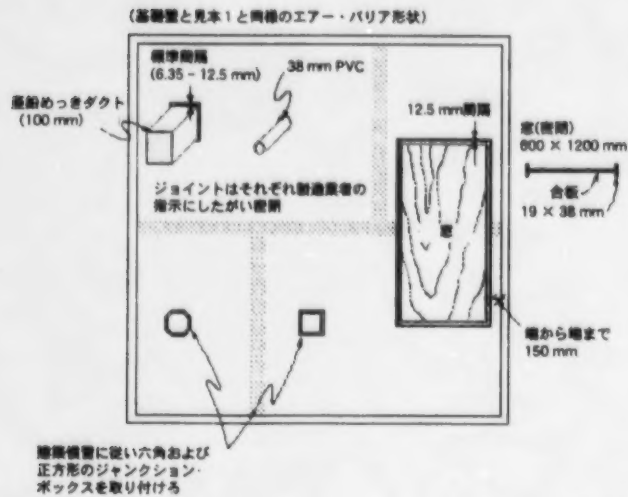


図 2 貫通部を含んだ見本

## 見本 3 - 基礎インターフェースおよび不透明壁 (修正を含む)

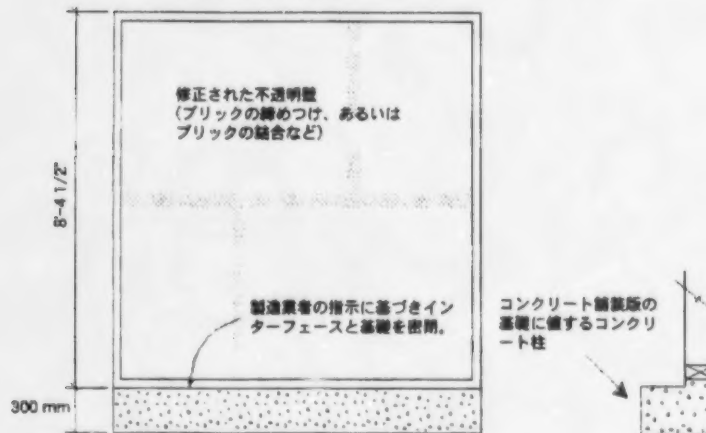


図 3 基礎に接続した壁



### 3.4 構造的能力

壁システムは、スタック力（上昇気流により発生する力）、機械による力（機械換気により発生する気圧差によって生じる力）及び風により、一方向からの空気圧荷重の影響を受ける。スタック力と機械による力は比較的小さいが作用時間は長く、一方、たとえ一時的であったとしても風の力は強大である。エア・バリア・システムの壁は最も気密性に優れた平面であるため、システム自体及び壁システムの他の部品に損傷を与えることなく、風圧に耐え建物構造体に荷重を伝達しなければならないことを設計者は認識する必要がある。

### 3.5 構造荷重の基準

予測される風に関連したエア・バリア・システムの構造的機能を評価するために、見本（標本）は継続的、周期的および突風などの状態で荷重試験を受けなくてはならない。表 2 に示される試験圧力は、壁が設置されうる地域において 10 年に一回の頻度 ( $Q_{10}$ ) で生じるであろう風圧の数値である。

風荷重は図 4 のスケジュールに従って適用が可能で、試験の圧力および周期は、風圧力及び建築物が 10 年の間に経験すると考えられる数度のストームによるエア・バリアの疲労を代表するものとして考えられる。エア・バリア・システムの気密機能を果たす主要な平面を構成する材料は、それ自体が持つ強度で構造荷重に耐える必要はない。商標登録されているいずれのエア・バリア・システムも、「システム」の一部である基盤やファスナーなど気密部品とその構造部品の双方について確認を要する。

表 2 10 年に一回の頻度で生じる風荷重の風圧

風の設定値が下記の場合の地理的エリア	P1, P1' 1 h の継続 (Pa)	P2, P2' 2000 回周期 (Pa)	P3, P3' 突 風 (Pa)
$Q_{10} < 0.40 \text{ kPa}$	400	530	800
$Q_{10} < 0.40 \text{ kPa}$	600	800	1200

2000 回周期の荷重は、正圧から負圧に転換させることで 500 回周期を 4 段階で適用、または正と負を逆にすることで 1000 回周期を 2 段階で適用することもできる。

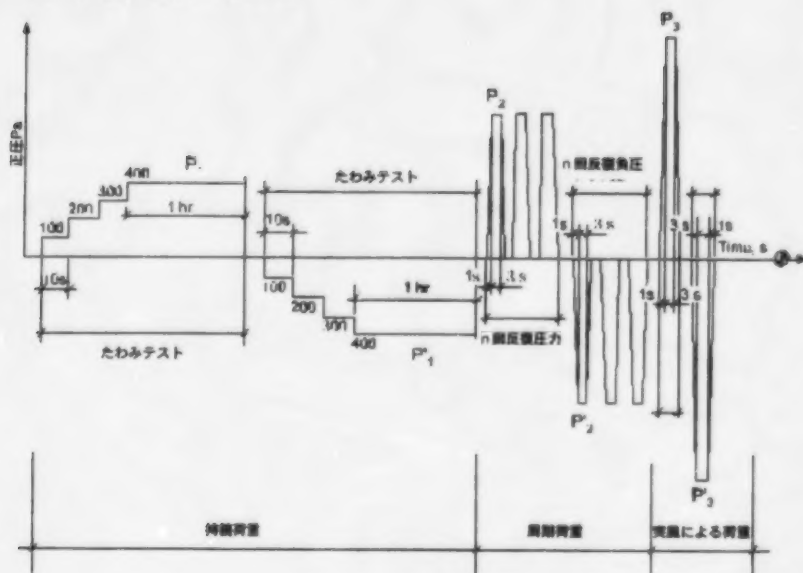
### 3.6 たわみの基準

エア・バリア・システムのたわみは、i) 風荷重を支持するように設計されていない表面に風荷重をうけさせる、ii) 壁システムの材料を別のものと置きかえる、iii) 膜（または結合部分）に引っ張り力が働き、長期間その影響を受けさせる、などの方法で測定するものとする。CCMC の評価基準では、たわみが設計荷重の 1.5 倍で測定・報告されている。

### 3.7 耐久性

エア・バリア・システムの耐久性は、隣接する資材との適合性と供用期間を通してシステムが受ける荷重に依存する。地域環境の要因で耐久性に影響をもたらすものには、温度、湿度、太陽放射、

# 構造(風)荷重スケジュール



② 構造荷重の後に測定される空気透過率とたわみ

図4 風荷重適用スケジュール

電気化学的要因及び生物的活性資材などが含まれる。CCMC 評価基準では、耐久性の評価は加齢、天候及び反復使用をシミュレートする標準試験に従い、各材料を評価することによる。UV および加熱による加齢に関するプロトコルは CCMC テクニカル・ガイド向けに作成されており、その承認基準は、気密機能を果たす主要な平面を構成する材料を加速加齢させた後に、強度パラメータの残留強度が 85%並びに空気透過の増量が 10%以内であることに基づき設定されている。

## 4. 結 び

CCMC テクニカル・ガイドは、多くの材料、部品又は付属品で構成される製品であるエア・バリア・システムを評価するために開発された。現在、製造業者は材料及びシステムを製造しながら、NBC の適合性を確認している。テクニカル・ガイドの基準にそって CCMC が評価するエア・バリア・システムは、当該システムの使用材料が全て評価通りにその性能を有するよう現場で適正に施工される限り、NBC の基準に適合していると見なされうる。したがって、システムは評価済み施工マニュアルに従って取り付けられ、その適用は CCMA 評価で明らかにされた制限を越えるものであつてはならない。

# BASECALC

## Software for residential basement and slab-on-grade heat-loss analysis

- researchers
- building and energy-code authorities
- insulation manufacturers
- consultants
- building simulation-software developers
- building analysts
- builders

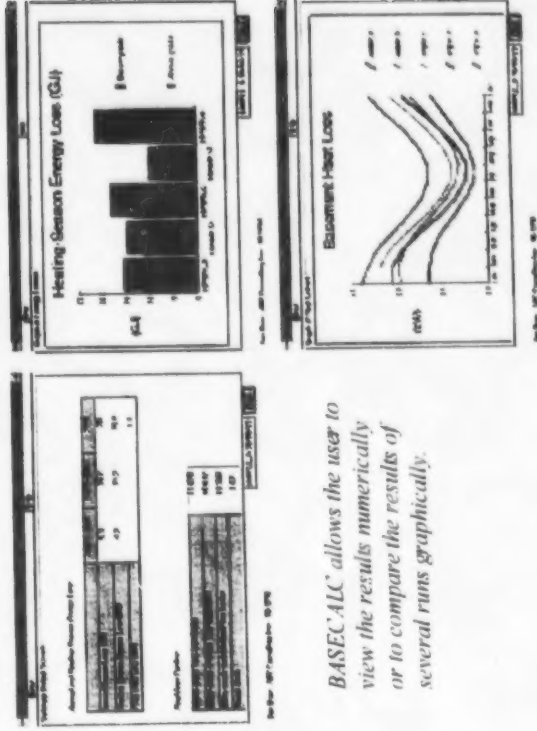
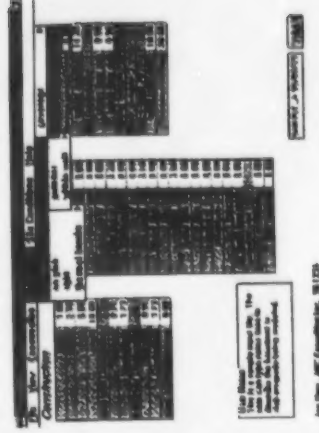
New software has been created for modelling heat losses from residential basements and slabs-on-grade. A menu-driven interface allows the user to quickly and efficiently describe how the basement or slab-on-grade is constructed, where insulation is placed, what type of insulation is used, and to select ground properties and weather. BASECALC then performs a series of detailed finite-element calculations—which may take half an hour or longer—before presenting succinct, easy-to-read results to the user.

## What is BASECALC?

- BASECALC uses a new numerical technique to model basement and slab-on-grade heat losses
- users enter a description of the basement's thermal and physical characteristics, then BASECALC transparently runs the analysis without users needing to know the calculation core
- two steady-state and one transient two-dimensional finite-element calculations are performed
- accounts for three-dimensional effects around corners
- processes finite-element results with weather data to predict energy and heat losses

## Easy to Use

- pull down menus
- complete set of input data displayed on a single screen for quick checking
- menus can be bypassed and data entered directly
- users can confirm input with a view screen displaying a basement cross-section illustrating where insulation has been placed



*BASECALC allows the user to view the results numerically or to compare the results of several runs graphically.*

### Advantages

- User-friendly interface and on-line help.
- Bilingual: French and English.
- Numerical, graphical, and parametric output.
- Models both above-grade and below-grade heat losses, including the effects of thermal bridging between the basement and the main-floor envelope.
- Validated against the National Research Council of Canada's Mitelas method.
- Allows analysis of complex and important insulation configurations with code implications.



- Batch processing for multiple runs.
- Includes libraries of common insulation and construction materials.

### Applications

- Developing more accurate basement algorithms for building-simulation programs.
- Research.
- Establishing building- and energy-code requirements for basement and slab-on-grade insulation.
- Assessing and demonstrating the performance of new products and novel insulation placements.
- Validating and calibrating basement heat-loss predictions from building-simulation programs.

### System Requirements

- 386 (minimum), 486, or Pentium (preferred).
- 8 MB RAM (minimum), 16 MB (preferred).
- 55 MB hard-disk space.
- VGA monitor.
- Windows 3.1 or Windows 95.



### Licenses

- Single-user licenses: 595\$ (Canadian funds in Canada, US funds elsewhere).
- Single-user license includes the software, weather data for 40 North American cities, on-line help, an on-line tutorial, free updates for one year, and two hours of telephone support.
- Additional North American, Japanese, and European weather data for 5\$/city, where available.
- Site licenses negotiable.

For additional information on BASECALC, to license a copy, or to receive a free demonstration version, contact:

Ian Beausoleil-Morrison  
Energy Efficiency Division  
CANMET, Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 7th Floor  
Ottawa, Canada, K1A 0E4

(613) 943-2262 phone  
(613) 996-9416 fax

beausoleil-morrison@etb.mets.nrcan.gc.ca

## Model to Predict Fire Resistance of Wood-Stud Walls

Hisa Takeda  
Forintek Canada Corp.  
Suite 4100, C.T.T.C.  
1125 Colonel By Drive  
Ottawa, Ontario K1S 5R1  
Canada

To facilitate development of cost-effective, flexible design tools, Forintek Canada Corp. developed a model to predict heat transfer through gypsum-board protected wood-stud walls exposed to fire. The model employs two-dimensional heat conduction equations within the studs and gypsum board, and both convection and radiation equations at the wall surface. Complete sets of thermo-physical property data are provided for the wood studs, gypsum board and cavity insulation. These data include the melting-characteristics of glass-fibre insulation, and for estimation of joint opening, the shrinkage of gypsum board.

The model has a user-friendly interface and graphics display of the model's output. The user interface provides a number of options to users for estimating the fire-resistance of custom-designed walls. These included the following:

- Number of layers of gypsum board on both the fire-exposed and ambient side of the wall (one layer or two layers)
- Type of gypsum board (Type X or proprietary Type C)
- Thickness of the gypsum board (1/2" or 5/8")
- Species of wood studs (SPF, Douglas fir or Southern yellow pine)
- Stud size (nominal 2 x 4 or 2 x 6)
- Stud spacing (16" or 24" o.c.).

- Cavity Insulation (rock-fibre, glass-fibre, or no-insulation).
- Ambient temperature (default 20° C).
- Fire exposure (ASTM E-119, Japan's JAS, or user defined).
- Response of joints between adjacent sheets of gypsum board (Opening of joints or not)
- Spacing between nails attaching the gypsum board to the studs (default 16").
- Simulation time.

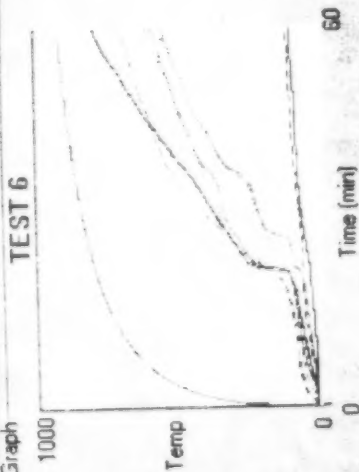
The graphics section depicts the following:

- Temperature-time curves at key locations in the walls
- Char profile in the wood studs.
- The three most important characteristic times used to describe fire resistance of wood-stud walls

- 1) Finish rating
- 2) Time to charring
- 3) Insulation failure

The computer program provides test data from six standard tests for validation of model results. A comparison of the calculated results with full-scale test data is illustrated on the next page. The solid lines are the model's predictions; the dashed lines are full-scale test data.





Menu Calc Clear Exit Test

Joints: OPEN

Nail Space

8 (inch)

Simulation time

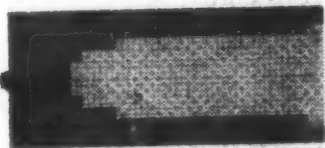
60 (min)

Counter

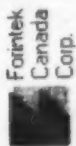
60

FIRE-SIDE  
BOARD BROKEN

Type X 5/8 in. h



Type X 5/8 in. h



Fointek  
Canada  
Corp.

Finish Rating:  
22 min 0 sec  
Time to Charring:  
24 min 29 sec

Joint-Filler off:  
18 min 22 sec  
Joints Open:  
22 min 0 sec  
Beard pull-off:  
59 min 55 sec

Char Depth:  
Top 11/16 Inch  
Side 5/16 Inch

Joint opening:  
1.05 Inch

Stud Species: SPF  
Stud Size: 2 x 4  
Stud Space: 16 (inch)  
Insulation: NONE

## 2 x 4工法の壁の耐火性評価のコンピュータモデル

Hisa Takeda

Forintek Canada Corp.

Suite 4100, C.T.T.C., 1125 Colonel By Drive

Ottawa, Ontario, K1S 5R1 Canada

フォーリンテックでは2 x 4の壁の耐火性を評価するコンピュータモデルを開発しています。2 x 4の壁はご存知のように石膏ボードと木の間柱(ウッドスタッド)から構成されています。モデルは火災時にこの壁がどのくらい耐火性をもつかを理論的に予測するものです。スタッド材に使う木の種類が変わると耐火性にどう影響するか、石膏ボードの種類や厚さが変わらどうか、壁の断熱材の影響はどうか、あるいは2 x 4が2 x 6になったらどうか? さまざまな状況下での壁の耐火性の評価が行えます。また、石膏ボードは熱で収縮変形する性質を持っています。そのためボードとボードの接合面が開いてしまうのですが、モデルではその接合面が開いたことによる効果を見ることもできます。断熱材も同様に高熱で収縮、溶融などの変化を起こします。モデルではこの断熱材が壁の中で融けていく様子を見ることが出来ます。モデルにはユージーザーインターフェースがあり、好みに応じて壁材の材質、断熱材の種類、壁の構造、標準加

熱曲線等を選択できます。計算結果はディスプレイ上にすべて visual で表示されます。その1例を次ページに掲げます。左側のグラフが壁体内の温度-時間曲線。実線が理論値、また比較ができるよう破線で実験値を示してあります。熱電対は壁の断面図の中の○印の位置に配置されています。スタッド内の炭化層の様子、石膏ボードが熱で変形していく様もこの断面図の中に見ることが出来ます。モデル検証のための実験データは全部で6種類ソフトの中に用意されており、Test をクリックすると全貌を見ることが出来ます。またモデルで使われている熱伝導率などの物性値は Properties をクリックすると表示されます。壁の耐火性を評価するうえで重要な項目、たとえば、Finish rating, Time to charring, Insulation failure 等はディスプレイの右上方に、また、ボードの変化状況を示す時間、炭化層の厚み、接合部の開き具合はその下に表示されます。断熱材がグラスファイバーの場合はグラスファイバーが溶融を開始する時間も併せて表示されます。



**FIRE-SIDE  
BOARD BROKEN**

Type X - 5/8 inch

Finish Rating:  
22 min 0 sec  
Time to Charring:  
24 min 29 sec

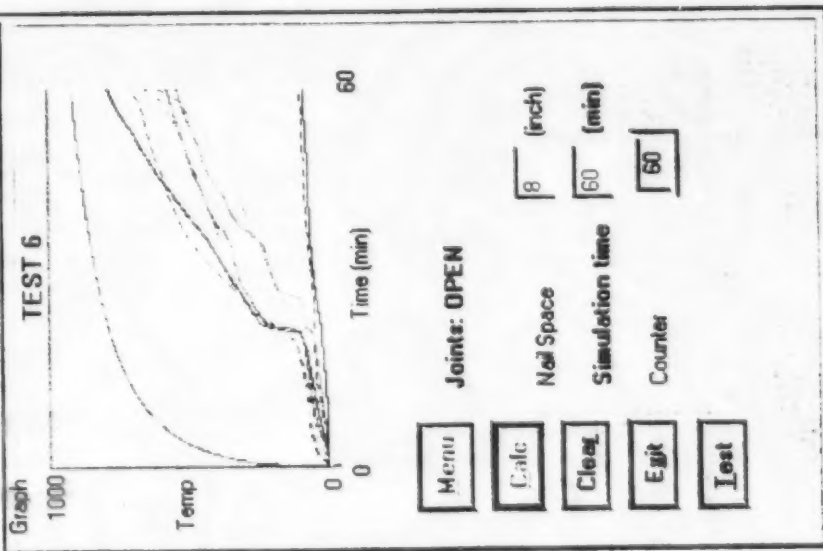
Joint-Filler off:  
18 min 22 sec  
Joints Open:  
22 min 0 sec  
Board pull-off:  
59 min 55 sec

Type X - 5/8 inch

Char Depth:  
Top 11/16 Inch  
Side 5/16 Inch

Joint opening:  
1.05 Inch

Stud Species: SPF  
Stud Size: 2 x 4  
Stud Space: 16 (inch)  
Insulation: NONE



# A METHOD OF FIXING THE INSULATION PANELS TO THE WOODEN FRAMES FROM THE OUTSIDE -A Case in Ha-Residence in Sapporo Japan-

Masashi Iida, Dr., Assoc. Prof., Hokkaido Institute of Tech., Hiroaki Kikuchi, Dr., Emeritus Prof., Hokkaido Inst. of Tech. Jun-ichi Endo, President, OPS Architecture Design Inc, Fumio Hasegawa, Prof., Hokkaido Architecture Vocational College

Considering the aging of construction workers and that the number of them is going to decrease after this, we panelized the insulation of roof and outside wall in order to rationalize the traditional ways of building a house at the construction site. This report deals with the house using assembled frames in its main frameworks, the construction process and some performance after its completion.

The construction term was in winter 1997~98. It is hard to build a house in this season because of its coldness and snowfall, but this method has the advantage that frames and insulation can be separate. Therefore panels can be made beforehand and systematically without thinking the situation of the construction site.

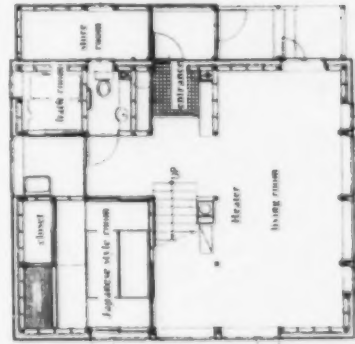


Fig. 2 1st floor plan

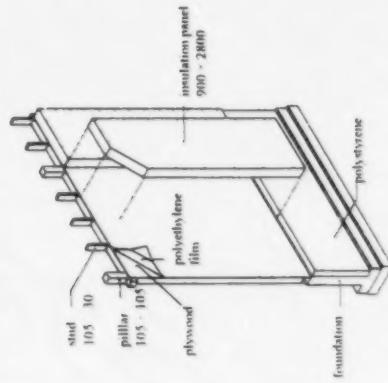


Fig. 1 Fixing wall panels

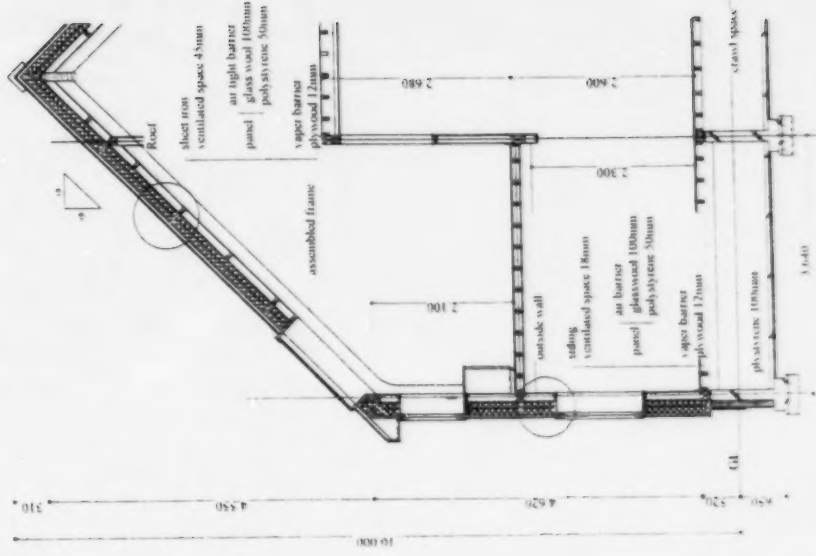


Fig. 3 Section detail

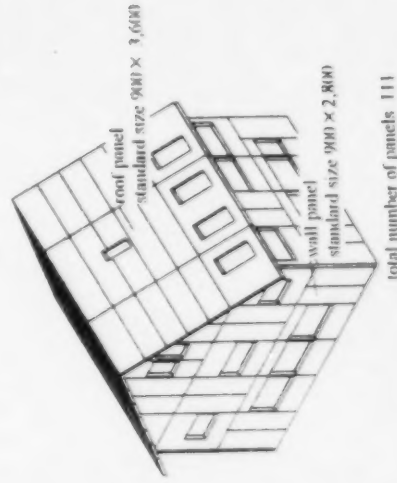


Fig. 4 Arrangement of panels



Fig. 6 Constructing the assembled frames

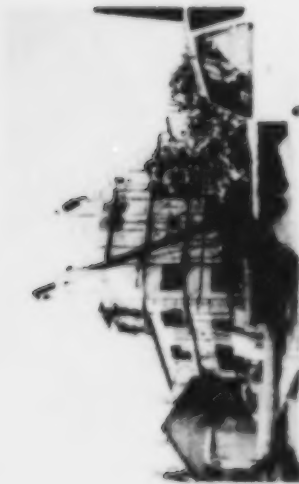


Fig. 7 Fixing the wall and the roof panels

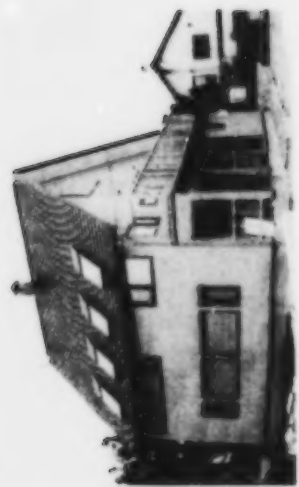


Fig. 8 The exterior of the test house



Fig. 9 The interior of the test house

We measured some performance

(1) The room temperature was stable in winter time, and the difference of the temperature between the 1st floor and the 2nd floor remained  $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$

(2) The leakage area was almost same- approximately  $1.4\text{cm}^2/\text{m}^2$  - and there was no increase even after their removal to it

(3) Because the average room temperature was relatively high, the fuel (kerosene) consumption was about  $1.2(10)$  liters

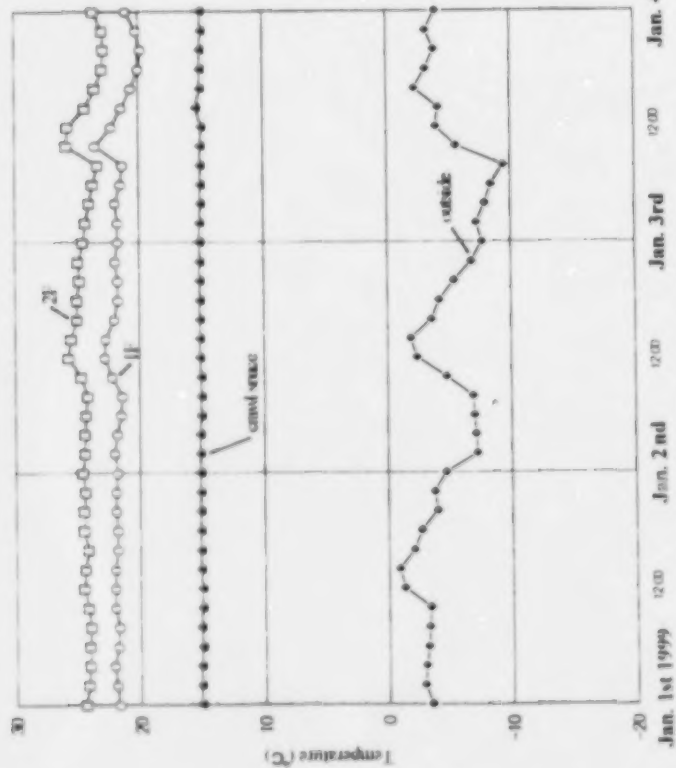


Fig. 10 Room temperature in winter

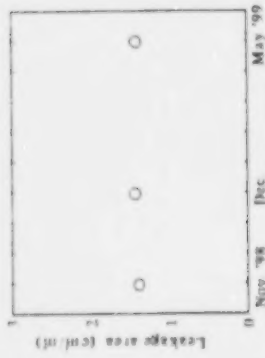


Fig. 11 The change of leakage area

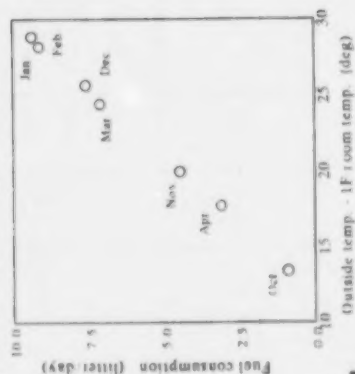


Fig. 12 Fuel consumption in winter



# パネル化した外側断熱構法 ー北海道、江別市・H a 宅の場合ー

飯田 雅史：北海道工業大学，助教授・工博， 遠藤 順一：OPS 設計（株），代表取締役  
 菊地 弘明：北海道工業大学，名誉教授・工博， 長谷川 文雄：北海道建設工学専門学校，教授

この住宅は今後の建設業者の高齢化と数の減少を踏まえ、在来構法住宅の現場施工の合理化を図るために、屋根・外壁の断熱材をパネル化し、主要軸組に湾曲集成材を使用した住宅の計画とその施工過程、さらに竣工後の各種性能をまとめたものである。施工時期は時期 1997～98 年の冬季。

この時期の施工は寒さ、降雪により困難を伴うが、本方法は軸組と断熱材が分離できたため、パネルはあらかじめ計画的に作製、現場の状況に左右されないメリットを活かしている。

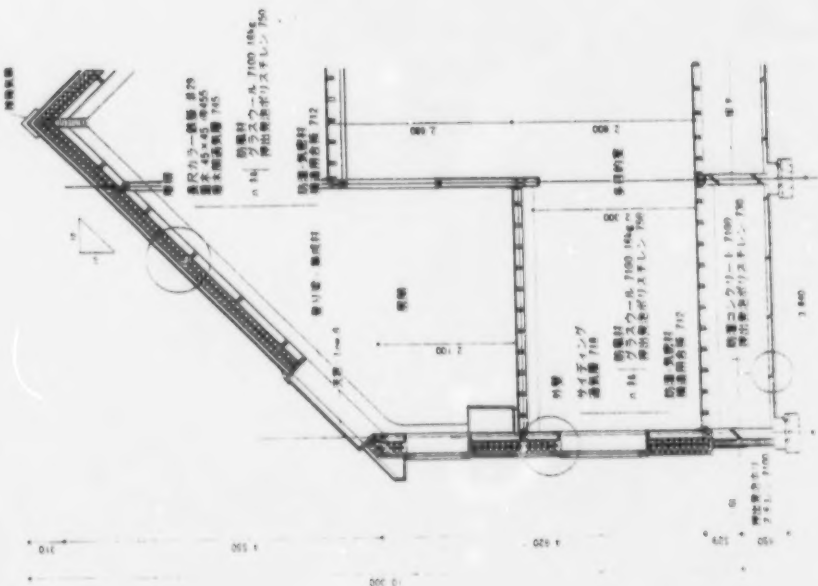


図 1 ハネルの取付方法

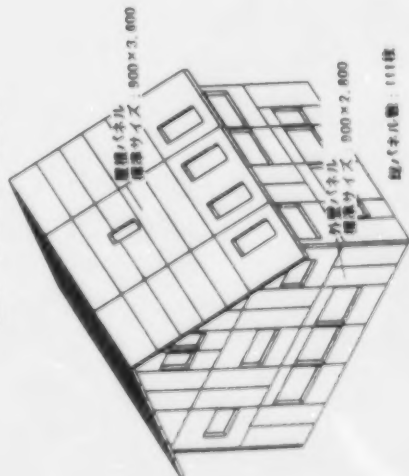


図 2 1階平面図

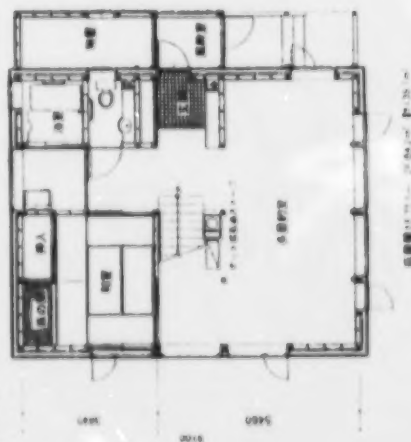


図 3 矩計図

図 4 ハネル割付概要

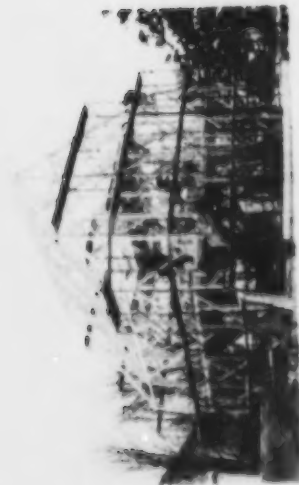


写真1 軸組みの組立て状況

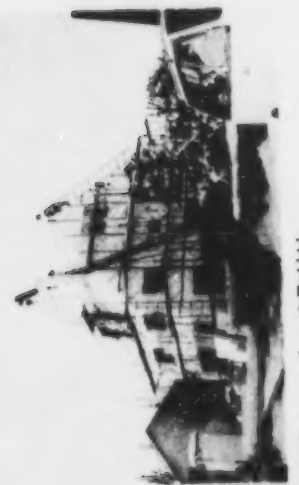


写真2 ハネルの取付け



写真3 南西面外観



写真4 内観。集材材が表しとなる。

完成後、約1年間にわたり各種性能を計測した。その結果は、①冬の室温はよく安定し、1、2階の温度差も2～3℃の範囲内であった。②相当隙間面積は約 $1.4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ では安定し、入居後の変動は見られない。③燃料消費量はやや平均室温が高いため約1,200リットル/暖房期間であった。

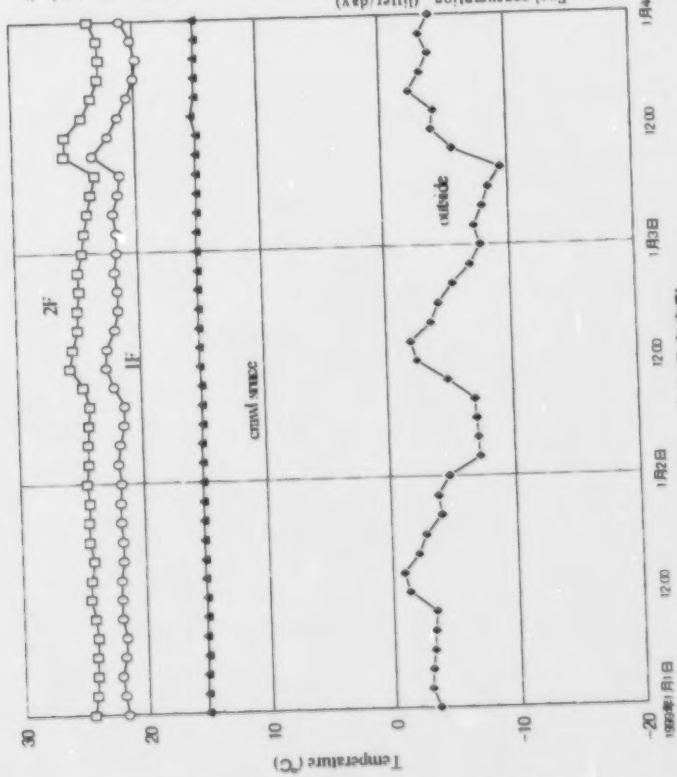


図9 各部温度変動

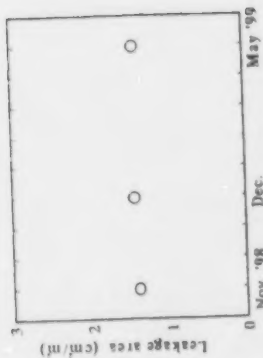


図10 相当隙間面積の変動

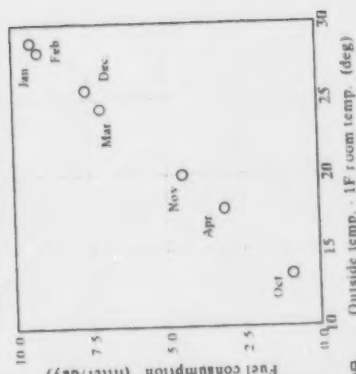


図11 燃料消費量と内外温度差

# Measurement of Wind Pressure Coefficient for an Apartment House in Urban Area

Hironao Seto and Takao Sawachi, Building Research Institute, Ministry of Construction

## INTRODUCTION

When using "Wind Pressure Coefficient" to simulate ventilation phenomena on the computer with the consideration of wind effect, the basis of the data seems to be rather weak. Some data is based on the wind tunnel experiment with small scale building model of simple shape, and some data is based on the experiment for a single building standing alone.

## BACKGROUND OF THIS PROJECT

In the apartment building, because of the height of each flat, wind force is more dependable than buoyancy force. For the purpose of both ventilation and cross ventilation (free cooling), the estimation of the wind effect is a crucial factor.

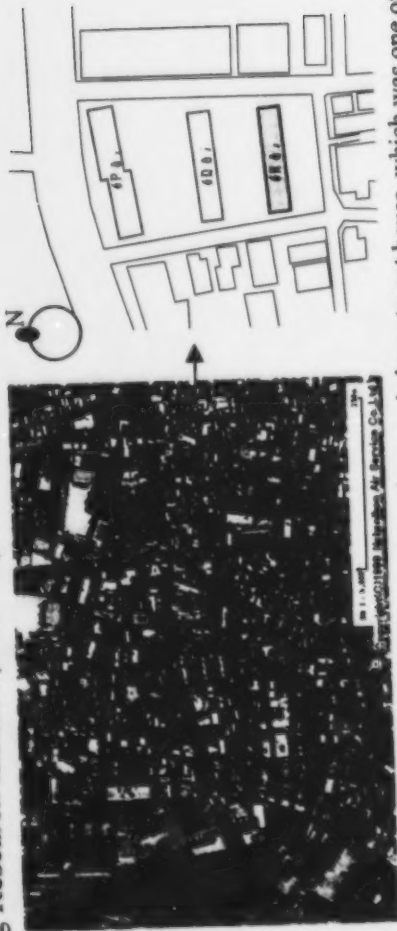


Fig. 1 The measurement was done for a four-storied apartment house, which was one of three-building housing development. On the eastern side of the housing development, there is high-rise apartment building of eleven stories. On the other direction, there are mainly two-storied detached houses built very close to each other.

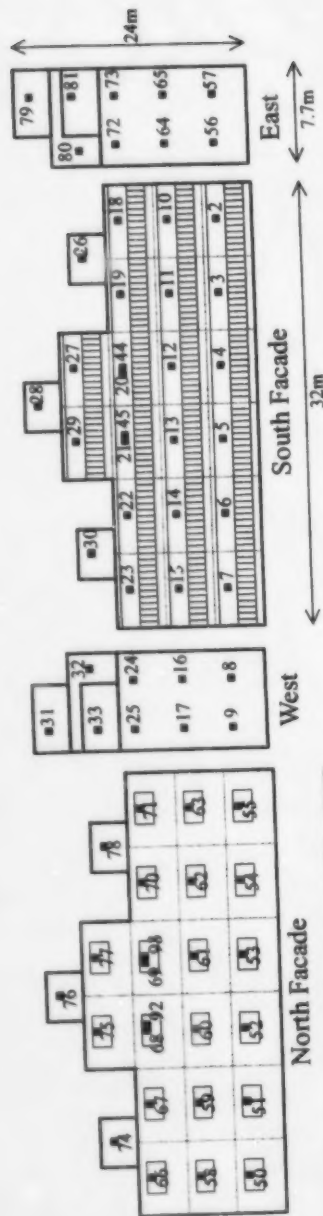


Fig. 2 Pressure measuring points with serial numbers on four facades and the roof. The reference pressure could not used in the experiment, so that the difference of wind pressure between north and south facades is focused upon.



Fig. 3 An example of natural vent, which has flow rate self-regulating function and is installed in the top of the window frame.

## RESULTS

The wind speed was measured at 4 meter above the roof of the penthouse, and the data was equivalent to the data of a weather station near the site. The wind, of which direction is near south (SE, SSE, S and SSW), relatively open with low-rise houses, gives rather large pressure difference between north and south facades. On the contrary, wind from north where building of the same height or higher exist, east and west, the wind pressure difference is very small, except at the points which are close to the eastern side road and the high-rise apartment building.

## CONCLUSION

For the design of natural ventilation, the estimation of the wind effect is critical especially for apartment buildings. The database of the effect must be made to make it practical and reasonable design vocabulary.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research project is a part of collaborative research with Tateyama Aluminum Co., Ltd. and Nishimatu Co., Ltd.

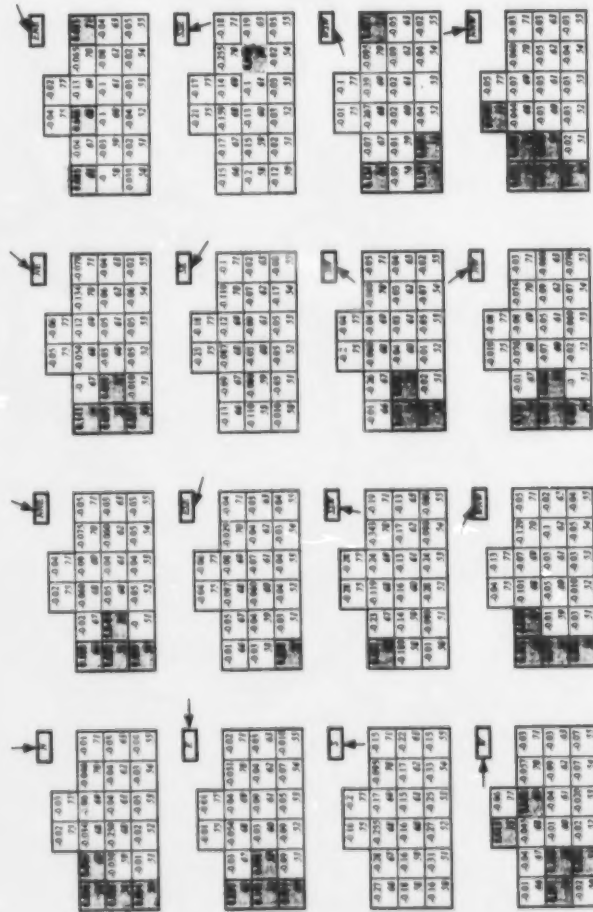


Fig. 4 Difference of  $C_p$  values on opposite facades, north minus south

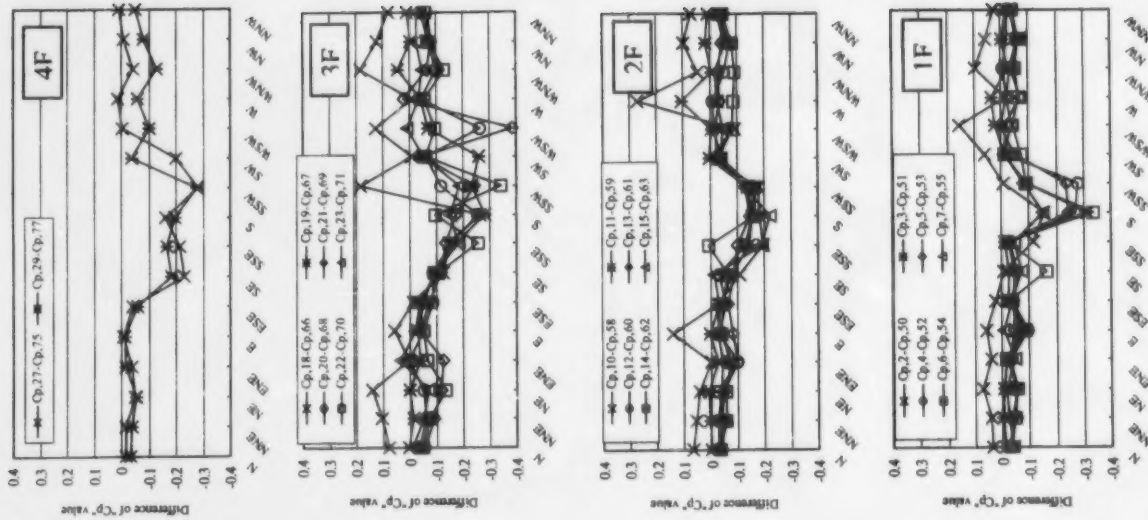


Fig. 5 Difference of  $C_p$  values and wind direction for each story

# 市街地の集合住宅における風圧係数の実測

瀬戸裕直, 澤地孝男 (建設省建築研究所)

はじめに

換気計算を行う際に常々問題となるのは、風圧係数に関する情報で信頼できるものがないことである。機械換気ならばまだしも、風力に依存する自然換気や通風の計画においては風力の影響を如何に正確に把握できるかが鍵となる。

研究の背景

この実測は、集合住宅を対象とした自然換気方式の開発を目的とした官民共同研究の一環として行われたものである。集合住宅で換気計画を行う場合、現在では機械換気が一般的であるが、種々のコストや省エネルギーの観点から自然換気の実用化を望む声もある。また、夏期や中間期の通風にしても近年研究が活発化しつつあるが、そこでも風圧の評価が重要な課題である。

実験方法

壁面に風圧測定板を貼り、ステレンレス管及び硬質プラスチック管により差圧計まで圧力を導いた。

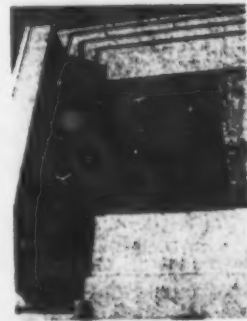


図3 サッシ枠の上部に設置された自然換気口の例。自己流量調節機能により過大な換気を抑制することが必要とされることもある。

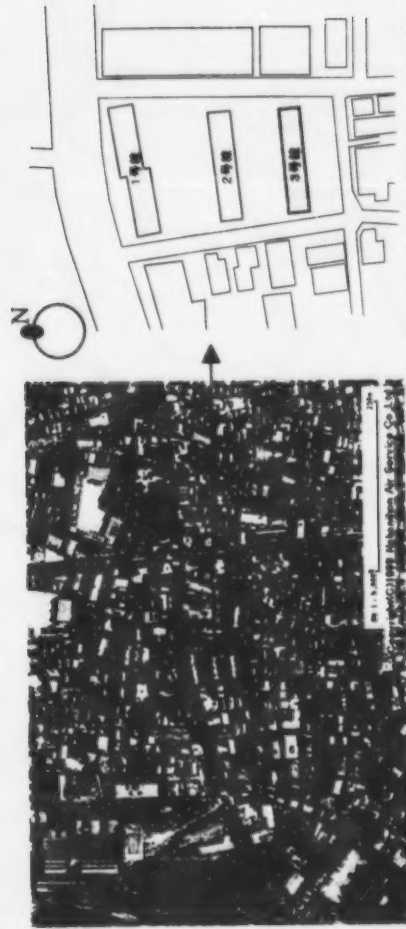


図1 実測は東京都中野区の住宅密集地域に立つ4階建て建物(3棟から成る住宅団地の南端の棟)において実施した。南向向及び西方向は主として2階建ての住宅が密集して立ち並び、東方向には11階建ての高層マンションが道路を隔てて隣接している。

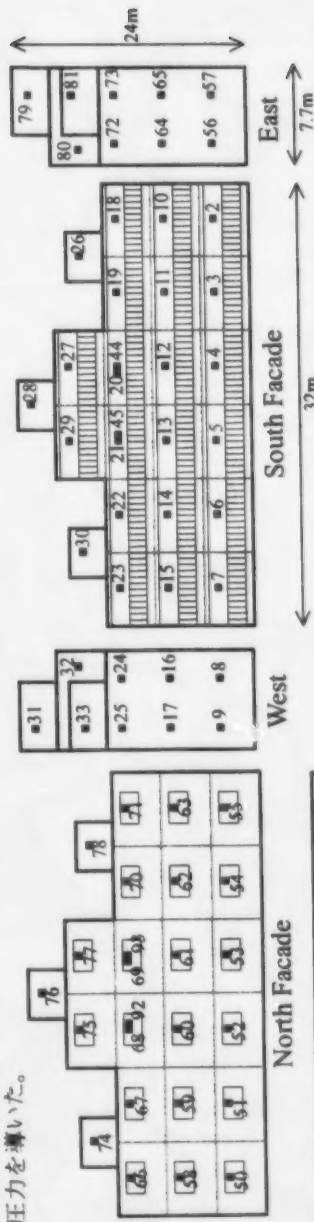


図2 圧力測定板の設置位置及び番号。基準圧を得ることは不可能であったため、同時に測定した(0.3秒間隔で9秒間)相対する点間の差圧を算出し分析した。



**結果** 基準となる風速はペントハウス上約4 mに設置した風向風速計により計測した。最寄の気象観測地点における同期間の測定結果と整合する結果が得られた。図4に北面の風圧から南面の風圧を引いた差圧を示す。北より風向の場合でも北面風圧のほうが低いポイントが多いが、北側に隣接する同高さの集合住宅の影響と考えられる。ただし、東側の道路及び高層マンション側のポイントでは北面風圧が南面よりも高い。

風圧係数の差の大小を風向別にみると、南南西から南南東という比較の開けて方向から風の吹く場合における、階別に風圧の差を見られる。北、東、西寄りの風向では0.1を越えないケースが多くなっている。階別に風圧の差を見ると(図5)、高い階ほど風圧差が大きいということとは顕著には見られないものの、開けた南面からの風の場合には(例えば風向SE、SSE)上階ほど圧力差の大きい傾向が見受けられる。

まとめ 集合住宅において、自然換気を計画する場合、風圧力の見積もりが重要な課題である。風圧力のデータベースを課することは自然換気計画や通風計画を実用的かつ合理的なものとするためには欠かせない課題である。

附録 この事例は、建築研究所と立山アルミ工業及び西松建設との官民共同研究の一環として行われたものである。また、実際にあった東京都住宅供給公社の関係各位にご協力を賜りました。

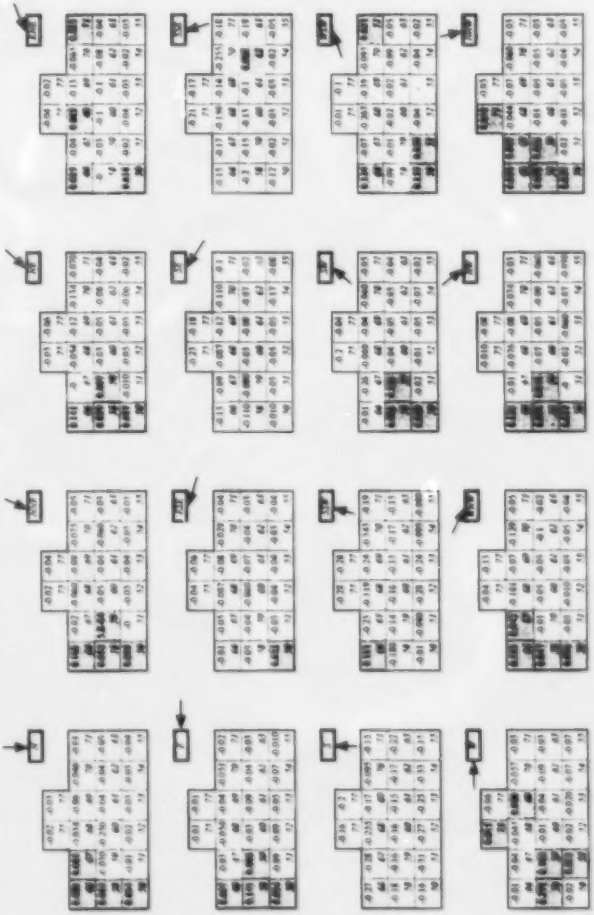


図4 北面の風圧係数から南面の風圧係数を差し引いた値

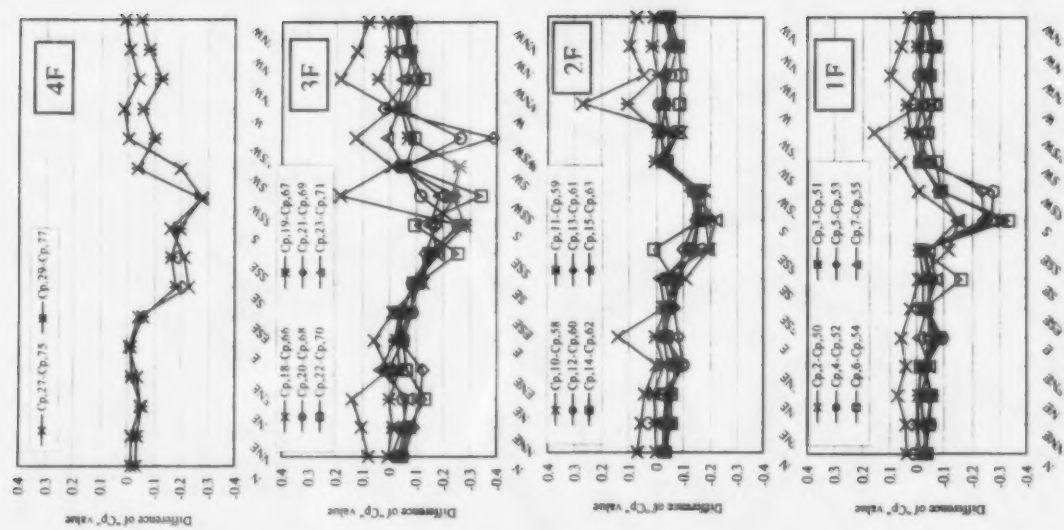


図5 階数による南北風圧係数差の差異

# **Concealed Condensation in Wood Frame Construction Walls during Cooling Period of Summer Season: Comparison of laboratory experimental study with field measurement**

Hiroaki Saito  
Japan testing center for construction materials  
5-21-20 Inari, Soka, Saitama, Japan

Takao Tsuchiya  
Toyo University  
2100 Kujirai, Kawagoe, Japan

## **1.Introduction**

Concealed condensation in wall during cooling period is widely recognized that is caused by moisture desorption of wall assemblies outside of insulation material. In the artificial climate chambers of the Japan testing center for construction materials, various type of walls were investigated experimentally to make clear the characteristic of concealed condensation in summer season. And we could measure temperature and humidity variation for same type wall on the actual residence in Tokyo. In this report, the experimental results are compared with field measurement, and computer simulation were carried out in order to investigate the validity of test methods.

## **2.Outline of Laboratory Experiment and Field Measurement**

### **2.1Experiment of concealed condensation in artificial climate room (case1)**

#### **2.1.1Experimental apparatus**

Experimental apparatus are composed of two artificial climate chambers in Fig.1<sup>1)</sup>. Specimens are sandwiched between the two apparatus, one is for the room and the other for the outdoor environment. Usually, the apparatus are used for thermal resistance test for a window and a wall panel, but we improved the outdoor chamber and controlling system for simulate outside environment of summer season, as follows.

1)Thermal radiation at the surface of specimen was given independently of air temperature by infrared lamp.

2)Outdoor environments (temperature, RH and sol-air temperature) were varied similarly to actual outside conditions so as to investigate non-steady concealed condensation.

#### **2.1.2Experimental conditions and specimen**

Outdoor conditions were set up on the basis of standard climate data of Tokyo as a typical summer day(Fig 2). Sol-air temperature is supposed to vertical wall of south side. The room air maintained at constant temperature and relative humidity, 26°C, 60%RH. Fig.3 shows the sectional view and measuring points of the wall specimen(H2450,W455mm). The specimen was 2×4 construction with air vent layer. In order to reduce the moisture supply from air space, outside surface of plywood was sealed by plastic film(moisture resistance:39 m<sup>2</sup>(g/kg)/g). It has already confirmed experimentally that the plastic film is effective for decreasing the absolute humidity at vapor barrier compared with no film type<sup>2)</sup>.

#### **2.2 Field measurement on heat and moisture property of residence (case2)**

Fig.4 shows the plan of residence (floor area: 251.8m<sup>2</sup>) which was measured. This wooden-frame house was built 2×4 construction in Tokyo, Japan. The wall is constructed almost same specification of sectional components as case1 including the plastic film. Differences of the specification are only two point. One is adding asphalt craft paper at just behind vapor barrier, the other is exterior facing board finished by mortar at first story. The measurement points for temperature and humidity were provided on each layer of external wall at south side room of second story. But the humidity sensor inside insulation material was set between asphalt craft paper and vapor barrier, and sol-air temperature was measured on the external surface of first story.

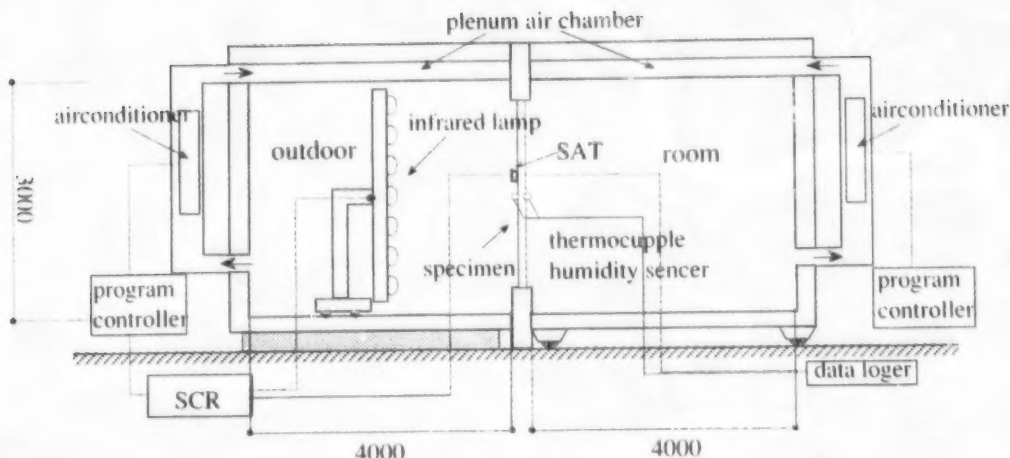


Fig.1 Experimental Apparatus (Artificial Climate Room)

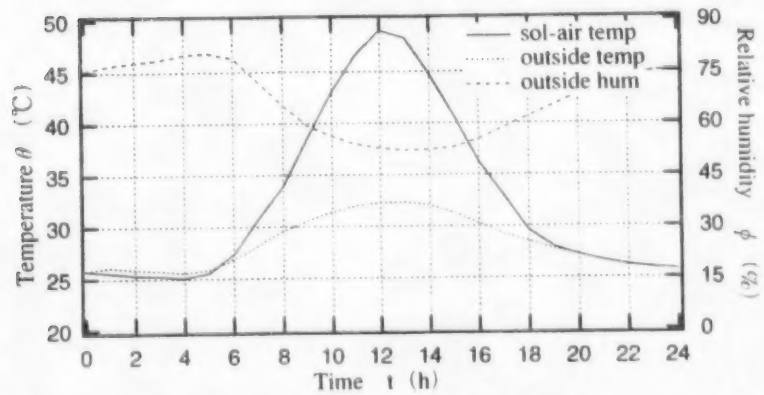


Fig. 2 Outside Conditions for Lab-Experiment

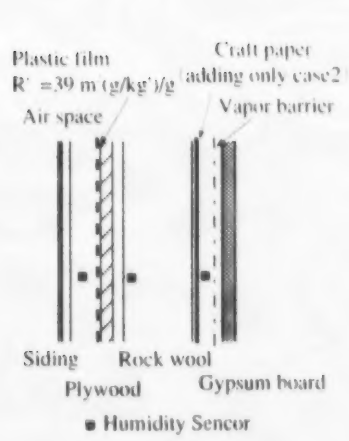


Fig.3 Section of Wall and Measuring Points

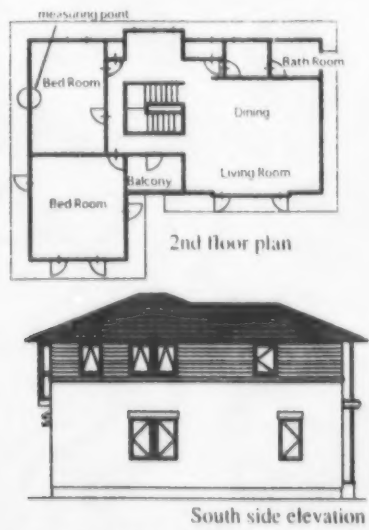


Fig.4 Test Residence

### 3. Results on Lab-Experiment and Field Measurement

Fig.5 shows the results of case1 (lab-experiment). Fig.6 shows the result of case2 (field measurement : '97.8/27~8/31), respectively. In order to confirm that vapor pressure difference of vertical direction at air space is caused by ventilation, the lower opening of air space on case2 was shut from 0 PM in August 21st. As for outdoor conditions, experimental results agree approximately with field measurement can be seen. But the sol-air temperature of field measurement dropped slightly at the early morning and evening due to effect of around residence. Remarkable differences between case2 and case1 are summarized below.

- 1) Temperature variation at plywood was a little lower on daytime.
- 2) Vapor pressure difference of vertical direction at the air space occurred during ventilated.
- 3) Absolute humidity variation at just behind vapor barrier was lower about 5g/kg' on daytime.

The reason of 1) is considered that the solar radiation might be shaded slightly by eaves at 2nd story. As for 2), it is indicated that the wall assemblies faced air space desorpted moisture and the upward air movement occurred by temperature rising. In case of 3), two reasons may be supposed. One is the temperature dropped at plywood compared with case1, the other is the asphalt craft paper is effective for decreasing the absolute humidity.

### 4. Computer Simulation of Temperature and Humidity Variation Inside Wall

In order to compare relatively case1 with case2, it is necessary to consider both the moisture absorption property of asphalt craft paper and the temperature difference inside wall. For discussion about these affection, the temperature and humidity calculations were performed after the computer program evaluated.

#### 4.1 Derivation of two parameter of $K''$ and $C_w$

In this section, characteristic property for absorption and desorption of asphalt craft paper is derived experimentally.

The expression of the absorption and desorption mechanism is based on that only thin layer of a wall surface is effective to the mechanism and these occurs an instantaneous equilibrium of moisture content. Therefore, the characteristic property of absorption and desorption of material can be reduced to two parameters,  $K''$  and  $C_w$  in Eqn.(1),(2)<sup>3)</sup>. The  $K''$  and  $C_w$  are related to the permeability and the moisture storage capacity of a material, respectively.

$$\frac{dw_k}{dt} = K'' A_k (X_i - \phi_k) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\phi_k = \frac{\phi_{sk}}{41} \left( \frac{w_k}{C_w} T_k - 5.46 \right) \quad \dots \dots \dots (2)$$

where

$X$  : humidity by mass of air (g/kg')  $A$  : aria (m<sup>2</sup>)

$\phi$  : humidity by mass of thin layer (g/kg')

$\phi_s$  : saturated humidity by mass of thin layer (g/kg')

$T$  : absolute temperature of thin layer (K)

$\frac{dw_k}{dt}$  : rate of moisture absorption or desorption of the boundary (g/h)

After weight change was constant at 23°C, 50%RH, the selected specimen of 10cm × 5cm was hung above saturated aqueous salt solution (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:97%RH) in the glass bottle(Fig.7). Two parameters  $K''$ ,  $C_w$  in Eqn.(1),(2) were determined so as to make measured and predicted weight as close as possible by means of multi variable regression analysis based on weight change data. Results of measured and predicted are given in Fig.8.

#### 4.2 Principal governing equations and Computational procedure

Moisture absorption and desorption at the surface of asphalt craft paper can be expressed in Eqn.(1)-(2). The heat and moisture transfer through porous material such as plywood and insulating material are governed by set of equations expressed in the form of Eqn.(3)-(6).

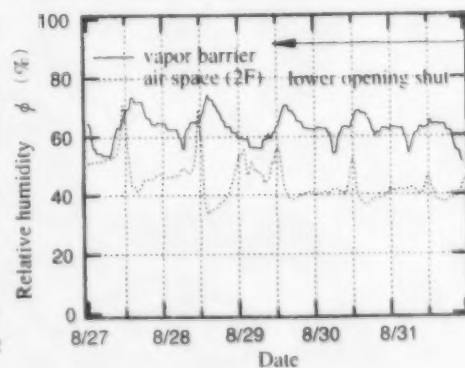
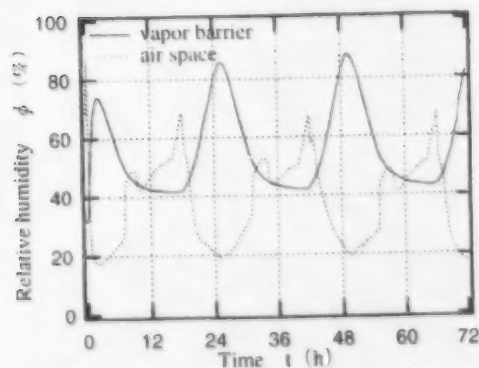
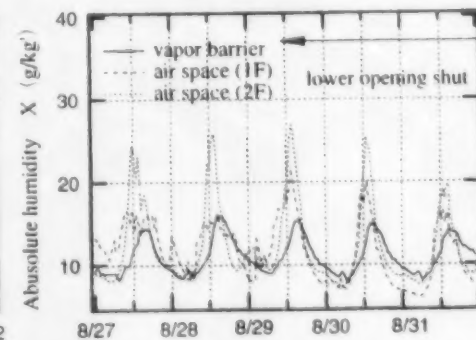
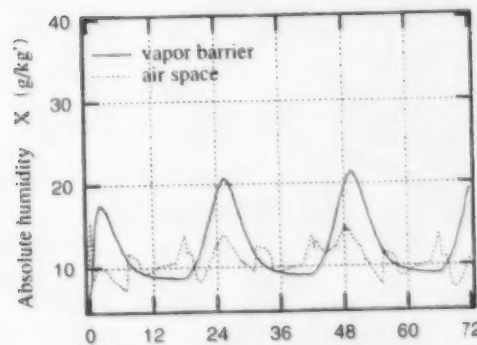
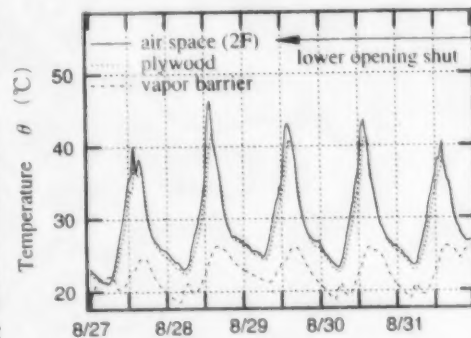
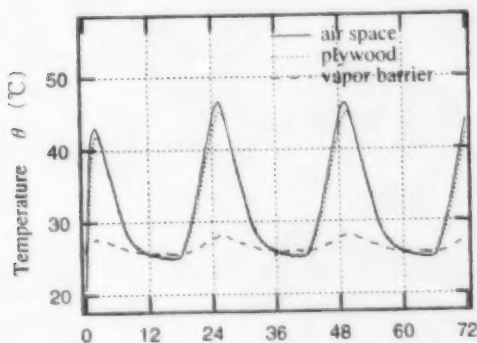
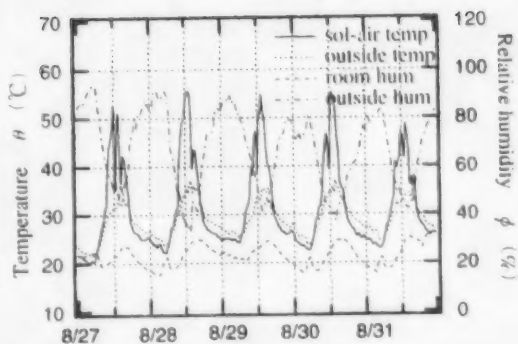
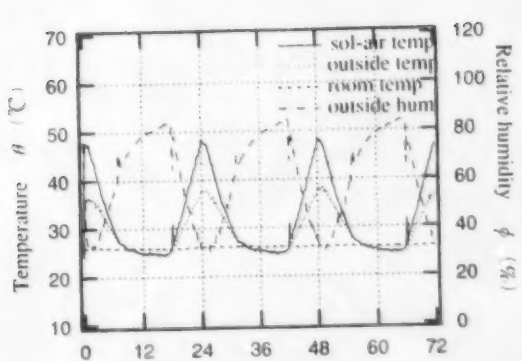


Fig.5 Results on Lab-Experiment

Fig.6 Results on Field Measurement



Sets of first order differential equations are replaced by the backward finite difference approximation and transformed into the set of linear algebraic equations in term of unknown variables  $\theta^{n+1}$ ,  $X^{n+1}$  at  $(n+1)$ th time step. Table 1. shows the conditions for simulation.

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D_w \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_\theta \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$C\gamma \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$(C\gamma' + \kappa) \frac{\partial X}{\partial t} = \lambda' \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + v \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$(C\gamma + Rv) \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + R\kappa \frac{\partial X}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (6)$$

Table 1. Conditions for simulation

code	adding asphalt craft paper or not	initial water content of plywood	boundary conditions as temp and RH
cal_1	none	7.2% (same as case2)	experimental value on case2
cal_2	none		experimental value
cal_3	added		on case1

#### 4.3 Comparison of measured and predicted

The measuring values of temperature and humidity at air space and room were given for calculative conditions. Comparison was made between the predicted temperature and humidity and the measured. The excellent agreement can be seen in Fig.9. The humidity variation at inside insulating materials in Fig 16 indicates that decreasing humidity at vapor barrier is due to the moisture absorption and retardation effect of asphalt craft paper on the residence.

#### 4.4 Effects of the asphalt craft paper

According to the present calculation in Fig 10, the large difference between cal\_2 and cal\_3 as the humidity variation can't be seen. This suggests that the amount of moisture absorbed on asphalt craft paper is not so much. But the asphalt craft paper can be effective for decreasing humidity variation as a temporary buffer and retarder.

#### 4.5 Effects of the experimental conditions

The humidity variation in Fig.9 are lower than calculated result of cal\_3 in Fig.10. This may be supposed that the moisture desorption of plywood is decreased due to temperature drop of plywood inner surface, because the effect of moisture absorbed on asphalt craft paper is slight for decreasing humidity. These are also presented in the calculation.

### 5. Conclusion

Findings in this study are followings.

- 1) It is confirmed that the temperature and humidity variation in the wall of residence obtained by field measurement agree qualitatively with experimental results at the laboratory. But the experimental conditions at the laboratory are more critical than a residence for occurring concealed condensation, the reason why the surface of actual exterior wall is affected by eaves and environments around house.
- 2) Vapor pressure difference of vertical direction at the air vent layer was measured in actual wall. This might be supposed that humidity of flow air increased gradually through the air space due to moisture desorption of the wall assemblies. Experimental wall in a laboratory can't be simulated accurately vapor pressure difference caused by desorption of moisture. Because increasing vapor pressure of flow air is affected by the height of the wall. In case of evaluation the experimental results in a laboratory, it must be considered that vapor pressure difference could be taken to air vent layer.
- 3) Experimental results showed that the amount of moisture absorbed on asphalt craft paper was not so much. But it is confirmed that the asphalt craft paper can be effective for decreasing humidity variation as a temporary buffer and retarder.
- 4) The humidity variation of inside wall on the residence was lower than the laboratory. This might be supposed that the moisture desorption of plywood decreased due to the temperature dropped at plywood compared with lab-experiment.

These are also presented in the calculation.

## References

- 1) Saito, H. and Tsuchiya, T., "Study on concealed condensation in wooden walls during cooling period of summer season", Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering, Architectural Institute of Japan, No. 519, 39-45, 1999
- 2) Saito, H. and Tsuchiya, T., "Study on concealed condensation in wooden walls during cooling period of summer season: part 7", Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Environmental engineering, Architectural Institute of Japan, 271-272, 1998
- 3) Tsuchiya, T., "Infiltration and Indoor Air Temperature and Moisture Variation in a Detached Residence," J.Soc.Heat., Air-Cond., Sanitary Eng. of Japan, 54(11), 13-19, 1980

## Acknowledgments

The authors wish to acknowledge the financial contribution of the Kishitani International Research Fund in participation in this workshop.

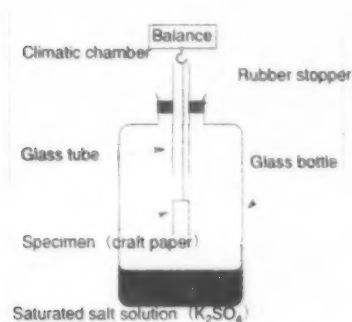


Fig.7 Apparatus for Moisture Absorption Test

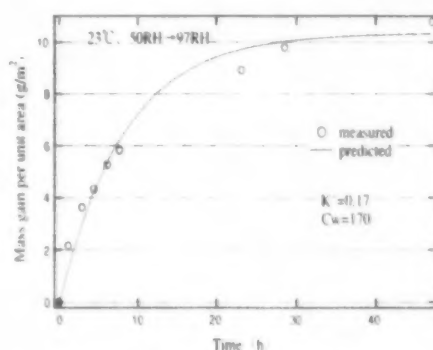


Fig.8 Mass Changes of Draft Paper

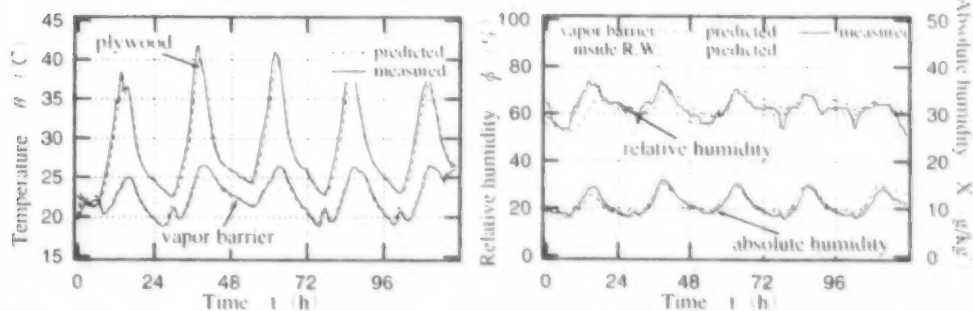


Fig.9 Comparison of Measured and Predicted(cal\_1)

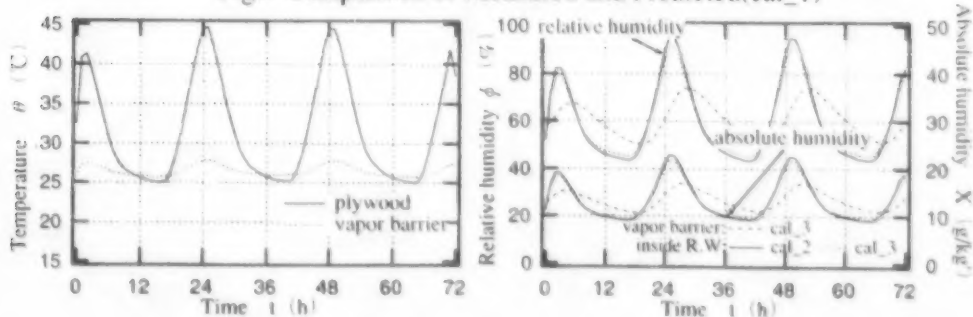


Fig.10 Computed Results (cal\_2, cal\_3)

# 冷房時における夏型壁体内結露

人工気候室及びフィールドにおける検討結果

齋藤宏昭

土屋喬雄

(財) 建材試験センター

東洋大学工学部

## 1. はじめに

温暖地域における住宅の高断熱・高气密化は、建物外皮である壁体自体の気密化にもつながり、部材の保持する水分が日射授受による温度上昇により壁内に排出され、夏型壁体内結露が引き起こされることが既往の研究で示されている。建材試験センターでは人工気候室において、様々な壁体モデルについての夏型結露実験を行ってきたが、今回、実大住宅の温湿度環境を測定する機会を得た。本編では人工気候室における夏型壁体内結露実験の結果を、フィールドにおける実大住宅の実測結果と比較することにより、実験室と実際の住宅における夏期冷房時の温湿度性状の違いを把握するとともに、実験方法の有用性を検討した。

## 2. 実験室実験及び実測概要

### 2.1 人工気候室における結露実験 (case1)

#### 2.1.1 試験装置

実験装置は、図-1のような外気条件と室内条件をそれぞれ設定できる2つの人工気候室である<sup>1)</sup>。試験体は界壁に取付ける。通常、本装置はサッシや壁パネルの断熱性や冬型結露の試験に用いているが、夏型結露を検討するため以下の項目を考慮した。

1) 日射授受を再現するため、壁表面の輻射成分を赤外線ランプにより空気温度とは別に制御する。

2) 非定常状態における結露性状を把握するため、空気温度、湿度、輻射成分をプログラムにより周期的に変化させ、外乱を実際の気象条件と同様に制御する。

#### 2.1.2 実験条件及び試験体

外気条件を図-2に示す。これは東京の8月の標準気象データを参考にして、夏季の代表的な晴天日の気象モデルを作成したものである。SATは壁の方位を南として設定した。室内条件は終日冷房を仮定し、温度26℃、相対湿度60%の一定温湿度とした。

試験体図を図-3に示す。試験体は通気層を持つ枠組壁工法の壁体モデル(H2450、W455mm)である。通気層に面する合板表面には透湿抵抗 $R=39$  (m<sup>2</sup>hmmHg/g)のプラスチックフィルムが張られており、通気層から合板への水蒸気供給が減らされ、防湿層付近の湿度上昇が緩和されることが比較実験により確かめられている<sup>2)</sup>。

### 2.2 実大住宅における壁内温湿度環境実測 (case2)

実測対象は東京都杉並区に建つ、枠組壁通気工法2階建ての住宅(図-4、延べ床面積251.8m<sup>2</sup>)である。壁体仕様は合板外側のプラスチックフィルムを含め、ほぼ同じ構成となっている。case1との壁体構成の違いは、防湿層と断熱材の間にアスファルトクラフト紙が付加されていることと、1階部分の外装材が軽量モルタルで仕上げられている点である。測定は南側洋室2階の外壁内に温湿度センサーを埋め込み行なった。ただし、SAT計は1階壁面に取り付けた。また防湿層表面の湿度センサーは、アスファルトクラフト紙と防湿シートに挟まれて設置されている。

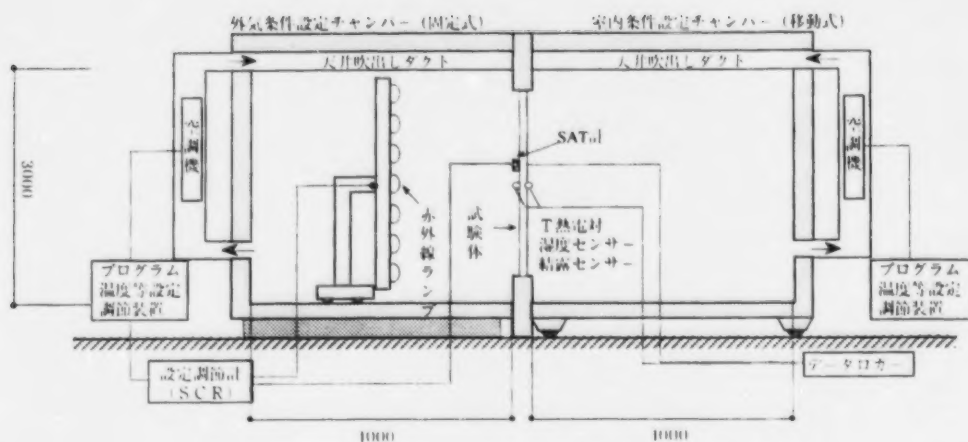


図-1 試験装置 (人工気候室)

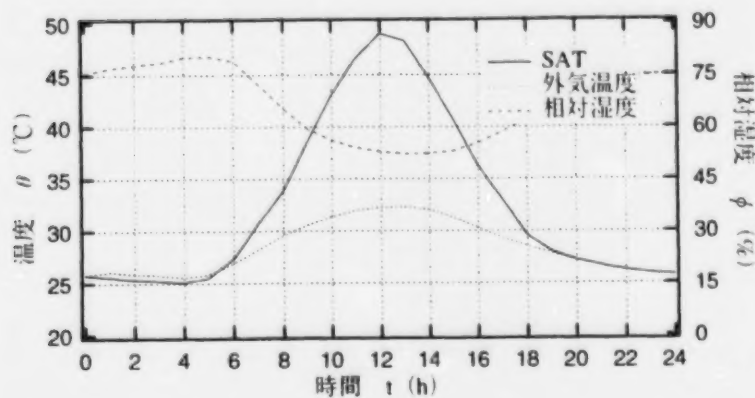


図-2 外気条件設定値

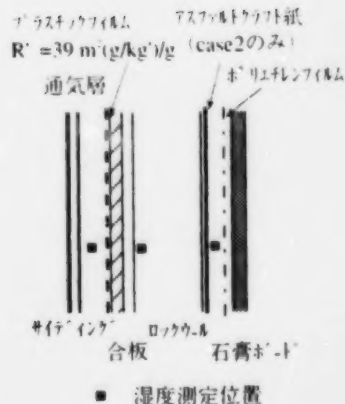


図-3 壁体断面及び  
センサーポイント図

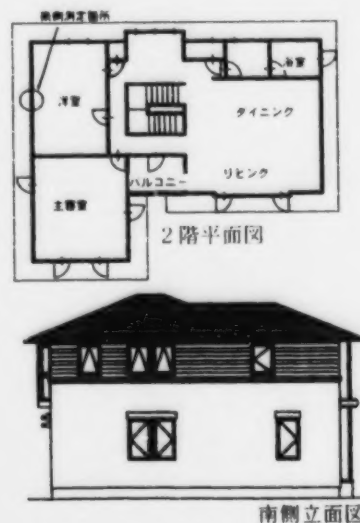


図-4 実測対象住宅

### 3.測定結果

case1 の測定結果を図-5に、case2 ('97.8/27~8/31) の測定結果を図-6に示す。case2 では通気経路内における放湿の影響をみるため、8/29の12時より通気層下端を塞ぎ、通気のない状態としている。フィールドでは SAT 計が1階に設置されているため、隣屋の影響により、朝、夕の相当外気温が低くなっているが、その他の外乱に関しては実験室でも実測結果をほぼ再現できることが示されている。

case2 において case1 と異なる点を以下に示す。

- 1) 日中、合板の温度がやや低く推移している。
  - 2) 通気がある場合、通気層の上下階で絶対湿度差が生じている。
  - 3) 日中、防湿層における絶対湿度が  $5\text{g/kg}$  程度低く推移している。
- 1) については軒や隣家による日射遮蔽の影響が、2) については温度上昇による通気経路内における部材からの加湿が考えられる。3) は合板温度が case1 に比べて低いことに加え、合板から放湿された水蒸気がクラフト紙に吸着、もしくは遮られたためと考えられる。

### 4.シミュレーション計算による比較検討

case1 と case2 結果を同じレベルで比較するためには、クラフト紙の湿気に対する特性と壁内の温度のわずかな違いを考慮する必要がある。これら影響を検討するため、シミュレーション計算を行った。

#### 4.1 吸放湿係数の同定

ここではクラフト紙の吸放湿に対する特性を表す係数を実験的に求める。

吸放湿には表面の薄層のみ関係し、この薄層内では瞬時に平衡に達すると仮定する。平衡含水率曲線を標準と考え、その  $C$  倍が薄層の平衡含水率とみなせば、ハイグロスコピック域における吸放湿特性は、(1)、(2) 式の  $K$  と  $Cw$  の二つパラメータで表すことができる<sup>3)</sup>。 $K$  と  $Cw$  は、部材の空間から薄層までのコンダクタンスと湿気容量を表す。

$$\frac{dw_k}{dt} = K \cdot A_k (X_i - \phi_k) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\phi_k = \frac{\phi_{sk}}{41} \left( \frac{w_k}{Cw} T_k - 5.46 \right) \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに

$X$ : 空間の絶対湿度 ( $\text{g/kg}$ )     $A$ : 面積 ( $\text{m}^2$ )

$\phi$ : 部材薄層の絶対湿度 ( $\text{g/kg}$ )     $\phi_s$ : 部材薄層の飽和絶対湿度 ( $\text{g/kg}$ )

$T$ : 部材表面の絶対温度 ( $\text{K}$ )

$\frac{dw_k}{dt}$ : 部材の吸放湿量 (+が吸湿、-が放湿) ( $\text{g/h}$ )

試験は、温度  $23^\circ\text{C}$ 、相対湿度  $50\%$  で養生した  $100 \times 50\text{mm}$  の試料を、塩飽和水溶液 ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) で調整された  $97\%$  の雰囲気中 (図-7) に吊して行った。吸放湿係数は、試料の質量変化を測定し、予測値と実測値の差が最小となるよう同定した。測定結果及び推定結果を図-8に示す。

#### 4.2 基本式及び計算方法

壁体を対象としたシミュレーション計算では、クラフト紙の表面吸放湿には (1)、(2) 式を、合板には (3)、(4) 式の簡略化された熱水分同時移動方程式を、断熱材には (3)、(4) 式のハイグロスコピック域を対象とした熱湿気同時移動方程式を用いた。クラフト紙と防湿シートの境界部の湿度は、クラフト紙実質部から居室への湿流が定常とみなして算出した。数値計算は基本式を時間に関する後退差分近似で離散化し、線形の連立方程式を解くことにより行った。計算条



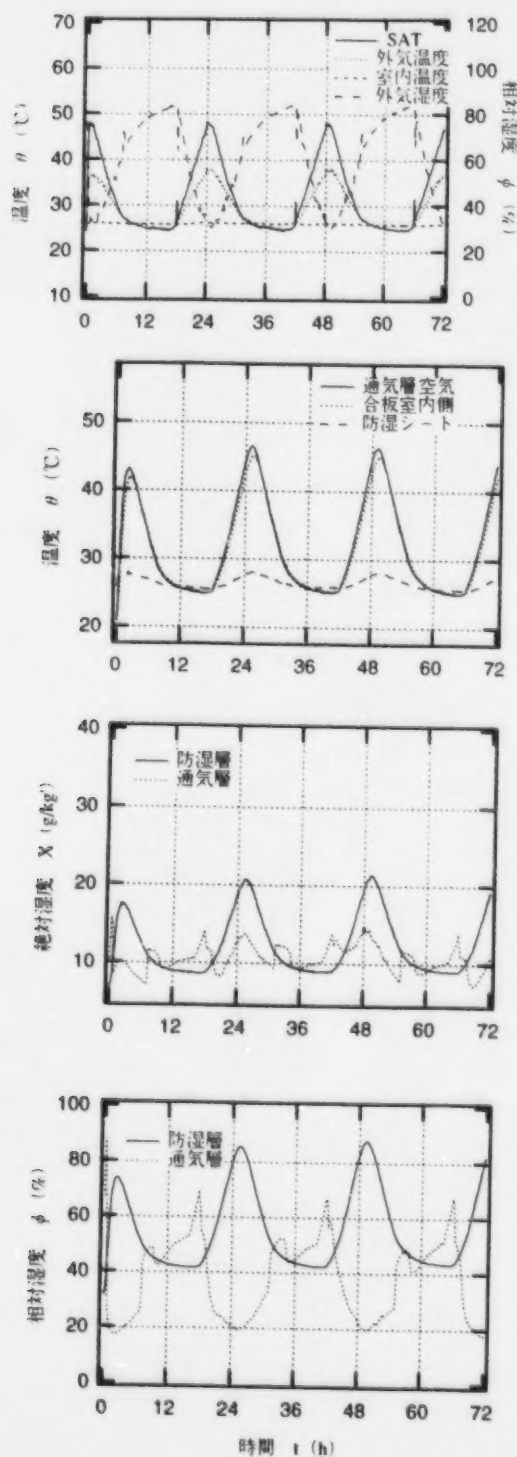


図-5 実験室における測定結果

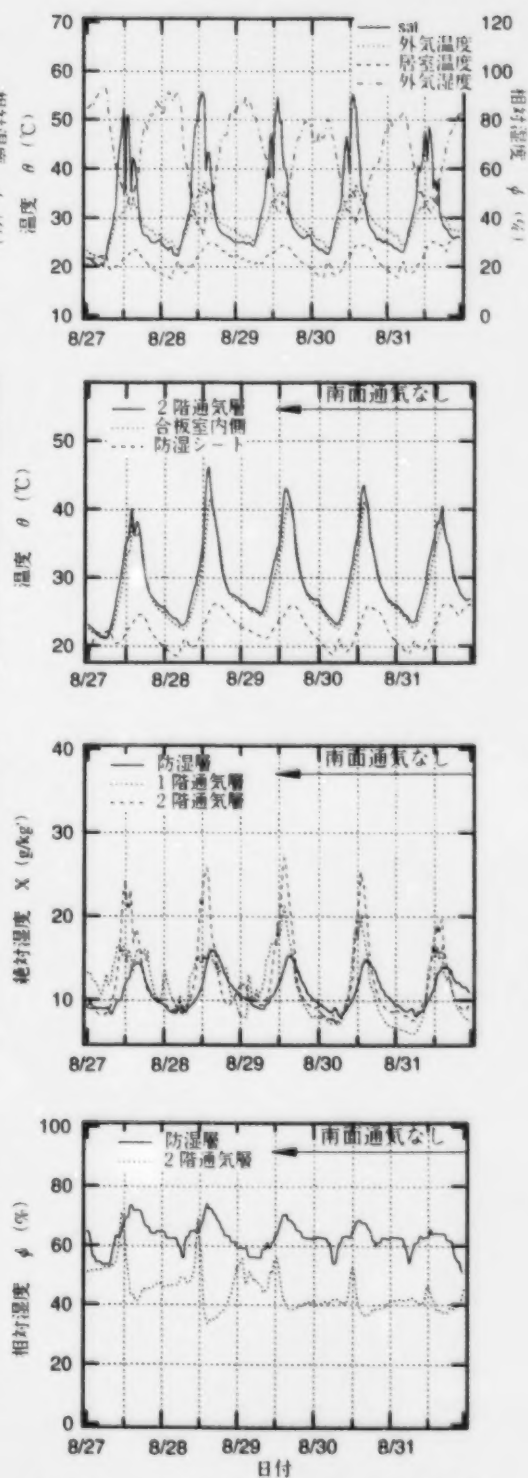


図-6 実大住宅における測定結果

件を表-1に示す。

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D_w \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_\theta \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$C\gamma \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$(C\gamma' + \kappa) \frac{\partial X}{\partial t} = \lambda' \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + v \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$(C\gamma + Rv) \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + R\kappa \frac{\partial X}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (6)$$

表-1 計算条件

code	クラフト紙の付加	合板初期含水率	温湿度条件
cal_1	あり	7.2% (case2と同じ)	case2における測定値
cal_2	なし		case1における測定値
cal_3	あり		

### 4.3 計算値と実験値の比較

図-9に実測値と計算値の比較を示す。防湿層の計算結果は温度、湿度ともに実測値に追従している。断熱材室内側の絶対湿度は防湿層の値より高く、アスファルトクラフト紙の持つ吸放湿性と透湿抵抗が、実測における測定部(防湿層)の湿度を低下させる要因となっていることが示された。

### 4.4 アスファルトクラフト紙の効果

図-10に示す断熱材内側の計算結果ではcal\_2、cal\_3で相対湿度に大きな違いは見られない。これはアスファルトクラフト紙の吸湿量があまり多くないことを示している。しかし合板からの湿気を遮ることにより、防湿層における湿度変動は80%以下に抑えられており、アスファルトクラフト紙の湿気に対する特性が結露防止に対する一時的なバッファとして働いたことを示している。

### 4.5 温度条件の影響

図-9に示される、住宅における測定値を境界値とした湿度の計算結果(cal\_1)は、実験室実験の測定値によって計算した図-10の値(cal\_3)より低い。ゆえに実測において壁内の絶対湿度が低かった理由は、アスファルトクラフト紙の吸湿による影響よりも、合板温度があまり上がらず、合板からの放湿量が抑えられたために生じたものと考えられる。

## 5.まとめ

夏型壁体内結露に関する実験室実験と実大住宅の実測結果の比較及びシミュレーション計算により得られた知見を以下に示す。

- 1) 実大住宅における壁体内の温湿度変動は、実験室実験と定性的には一致することが確かめられたが、実測では軒や外部環境の影響があるため受熱量が少なく、実験室のほうが、より厳しい条件となる。
- 2) 実際の住宅における通気層では、構成材からの放湿によるとみられる上下階の湿圧差がついていた。この現象は通気層を流れる空気が経路上で加湿され、上部へ行く程、水蒸気圧が高くなるためと考えられる。ゆえに、実験室における試験体では高さ方向の影響を完全には再現できず、通気壁体の実験結果を評価する場合、考慮しなければならない。
- 3) 断熱材室内側に貼付されたアスファルトクラフト紙の吸放湿量はあまり多くないことが実験結果よりわかった。しかしアスファルトクラフト紙の効果は、壁体内の湿度上昇に対する一時的なバッファとして機能していたことがシミュレーション計算により示された。
- 4) 実測における壁内の絶対湿度が実験室に比べ低く推移していた理由は、アスファ

ルトクラフト紙の吸湿よりも、合板の温度が低く保たれ、放湿量が減ったことによる影響が大きいと考えられ、シミュレーション計算によっても同様の結果が示された。

#### 参考文献

- 1) 齋藤、土屋：冷房時の夏型壁体内結露に関する研究、その1 日本建築学会計画系論文集 第519号 1999年5月
- 2) 齋藤、土屋、他：冷房時の夏型壁体内結露に関する研究、その7 日本建築学会大会講演梗概集 1998年
- 3) 土屋喬雄：戸建て住宅の換気と室内温湿度 空気調和・衛生工学 第54巻 第11号

#### 謝辞

本会議参加に際し、岸谷国際建築材料防火技術研究基金からの助成金を受けたことを感謝いたします。

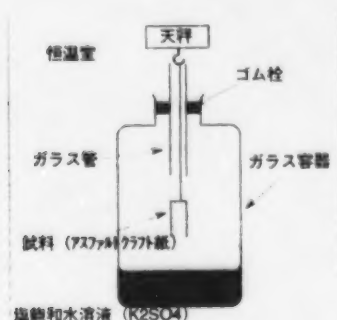


図-7 吸放湿試験装置

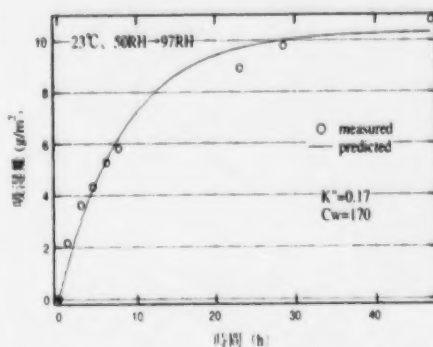


図-8 吸放湿測定結果

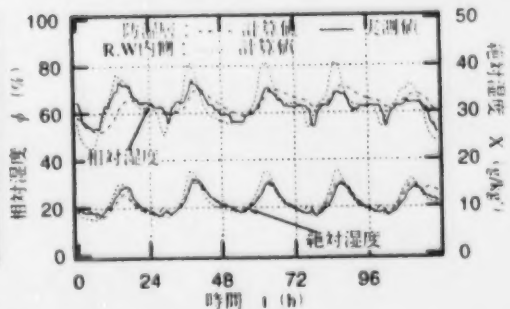
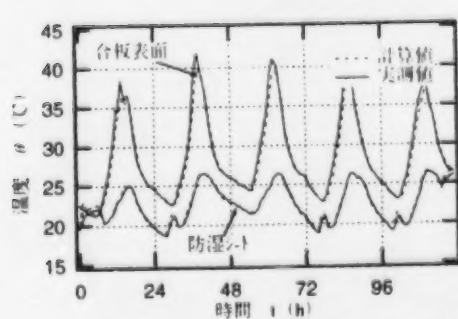


図-9 計算値と実測値の比較 (cal\_1)

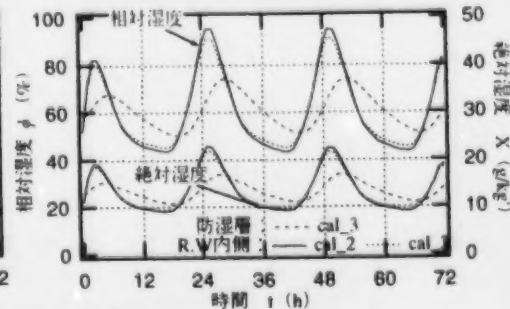
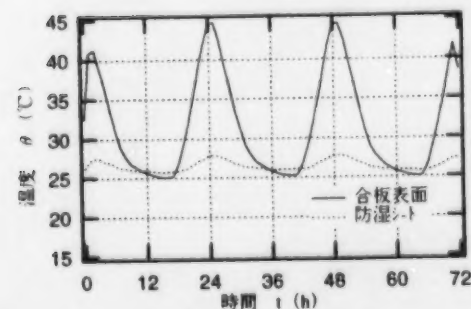


図-10 シミュレーション計算結果 (cal\_2, cal\_3)

# PARAMETRIC ANALYSIS OF WALL DRYING - STUCCO CLADDING

Donald M. Onysko, DMO Associates, Gloucester, Ontario K1C 2Y8, Canada

## Introduction:

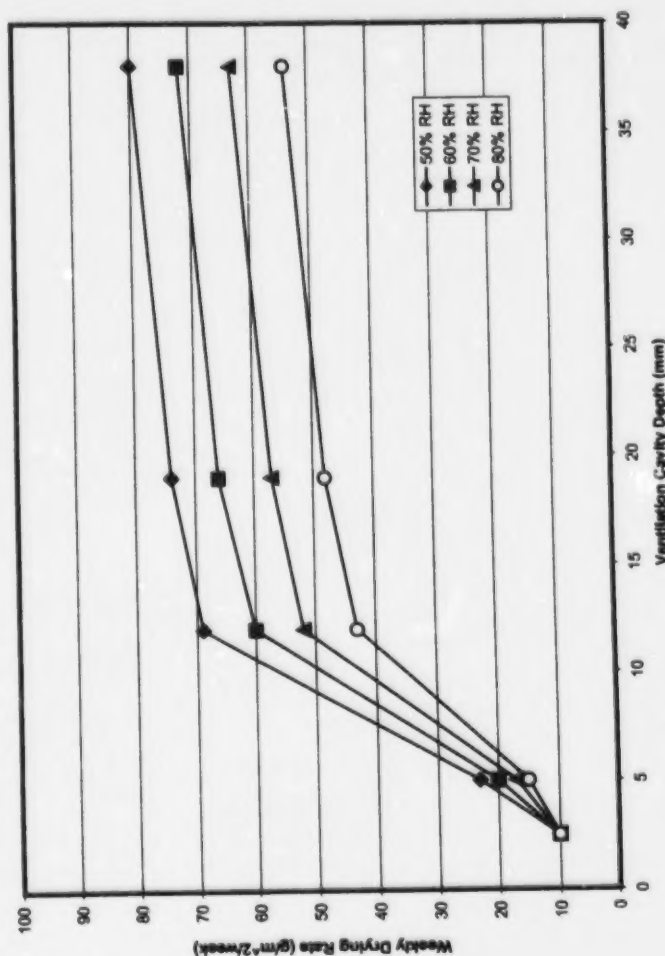
The significant number of building (multi-storey, multi-family) failures in the lower mainland of British Columbia were related to intrusion of rain into stucco walls. The building practices were changed by requiring all stucco walls to be built with a 19 mm ventilation space. In preparation for an experimental study on drying of stucco wall systems, a computer model study was undertaken using the Canada Mortgage and Housing Corporation model (WALLDRY). This model has the capability of studying drying of outer wall systems by ventilation and normal drying processes.

## Parameter Study:

The main intent of this study was to find the minimum ventilation cavity depth and ventilation gaps required at the bottom and top of the cavity to facilitate drying wet walls. The ventilation cavity was varied from 38, 19, 12, 2.5 and 1 mm depth. The ventilation gaps at the top and bottom of the cavity were also altered.

The properties of the stucco were varied. Results for a conventional stucco and an impermeable stucco were examined. The initial moisture content of the OSB sheathing was assumed to be 25%. The 2 x 4 lumber framing was assumed to have 25% moisture content in the core and 35% on the faces. This represents a case of severe wetting. The interior of the building was assumed at 20°C and 40% RH, and outdoor conditions were varied parametrically from 50% to 80% RH.

Figure 1. Effect of RH and Ventilation Cavity Depth on Weekly Drying Rate - Decoupled Stucco



### Results:

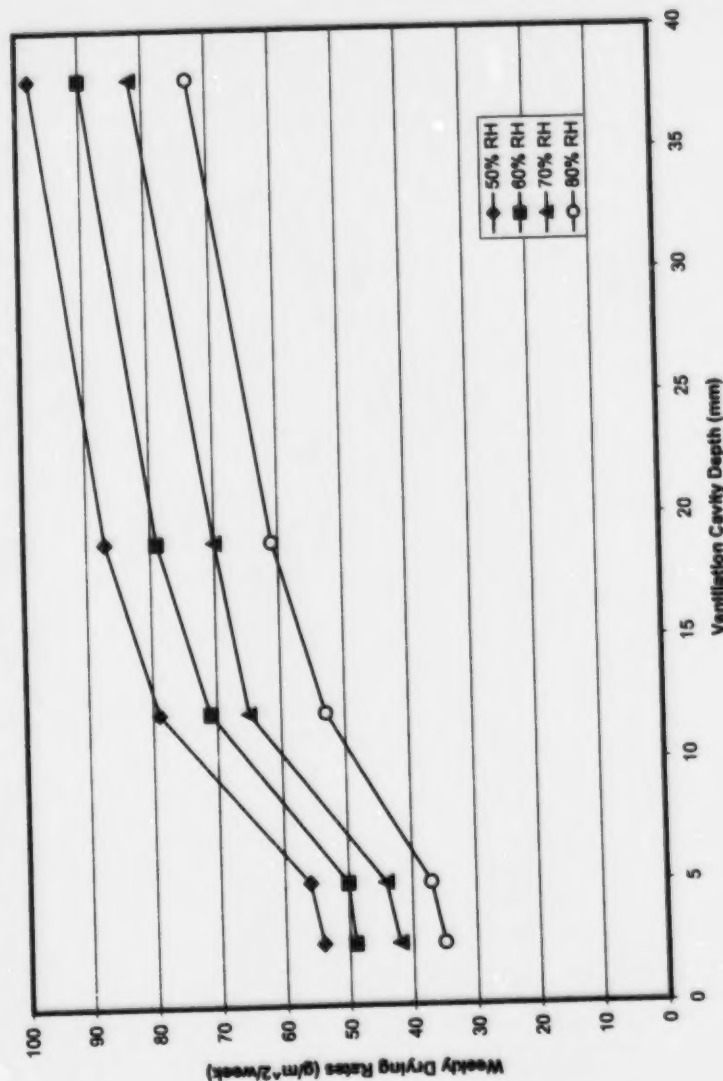
The results are shown in Figures 1 and 2 for the case of 2.5 mm ventilation gaps at the top and bottom of the ventilation cavity for the two stucco permeability cases. The drying rate (grams/per week/m<sup>2</sup>) from the wall shows:

- ▶ lower outdoor RH conditions permit faster drying
- ▶ larger ventilation cavities permit faster drying; small ventilation cavities under 10 mm dry slowly
- ▶ when drying can only take place by ventilation, drying is very slow for small ventilation cavities
- ▶ for small ventilation cavities, drying by diffusion through the stucco becomes the primary means of drying.

### Conclusions:

The study showed support for the use of a ventilation cavity. The study also showed that the properties of the stucco were important for drying. Complete closure of the top of the ventilation cavity significantly reduced the rate of drying. However, a relatively small ventilation gap at the top still permitted adequate ventilation to take place.

Figure 2. Effect of RH and Ventilation Cavity Depth on Weekly Drying Rates - Coupled Stucco



The study postulated that to control wetting it was important to control wetting of the stucco. Complete closure of the top of the ventilation cavity significantly reduced the rate of drying. However, a relatively small ventilation gap at the top still permitted adequate ventilation to take place.



## Advanced Integrated Mechanical Systems (AIMS) Field Trials and Barriers Project Industry Consortium

### Objectives

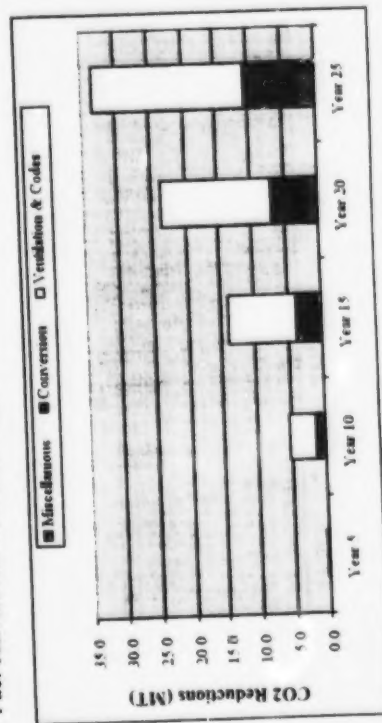
- Support the Development of AIMS for both single and multi-unit residential buildings
- Establish infrastructure and industry capacity for deploying AIMS
- Support initial market entry by at least 4 manufacturers
- Address costs associated with adoption of high performance HVAC equipment through optimization/intelligent integration

### The Opportunity

- Potential for annual Canadian CO<sub>2</sub> savings of 5 MT in 10 years and 33 MT in 25 years plus
- More affordable high E HVAC systems
- A dominant product for new homes and conversion market (electric, oil)
- Enables improved building envelope practice (especially air sealing)

### Annual GHG Emission Reductions

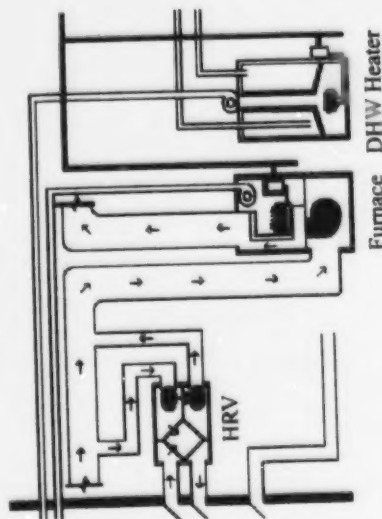
- Ventilation (heat recovery and air sealing)
- Electrical efficiency (fans, pumps, parasitic)
- Natural gas fuel efficiency
- Fuel conversions from electricity to oil



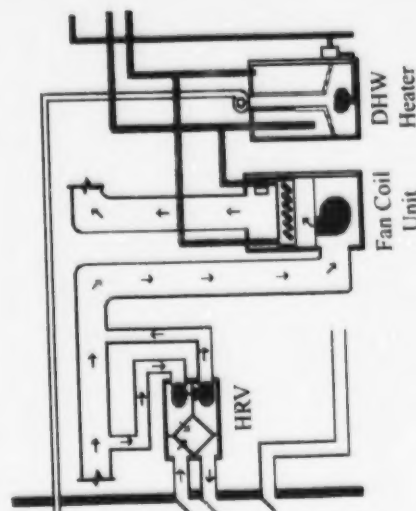
### HVAC Trends

- Smaller space heating loads yet same HVAC equipment costs
- DHW heating efficiency lagging behind space heating efficiency
- Mechanical ventilation now required but installed as a costly add-on
- Builders, HVAC industry and technology studies recognize need for new solutions

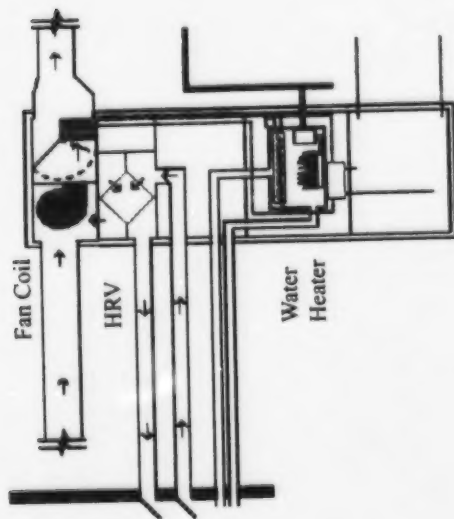
### Traditional 'Better Practice'



### Combo 'Best' Practice



## Integrated Products



## The Project

### Barriers to Combo/Integrated Systems

#### Market Conditions:

- Lack of standards and guidelines
- limited infrastructure

#### Impact

- Low-end solutions
- Poor installations
- Poor systems performance

### AIMS Project Focus

- Building Types: residential - detached and multis
- Fuel: Natural Gas
- Space heating, DHW heating and ventilation as a minimum
- Higher combined efficiency

### Industry Consortium

HRAI (the national organization for this industry) and several manufacturers, with CETC have formed a project committee with four working groups.

#### Working Group 1: Product Development

- Define product performance and cost goals
- Benchmark and review previous experiences
- Provide technical assistance to individual manufacturers
- Establish specifications for component suppliers

#### Working Group 2: Testing

- Develop performance evaluation and safety procedures
- Establish a performance rating system for selecting AIMS products
- Draft national standards

### Working Group 3: Delivery Infrastructure

- Develop installer's training manuals for target applications
- Develop design guidelines for target applications
- Tools, e.g. software tools, for selection, sizing, annual energy consumption, etc.
- Initial training to those involved in the field trials
- Revision and packaging for broad applications

### Working Group 4: Field Trials

- Identify target markets and field trial sites
- Install and commission up to 150 units
- Monitor, troubleshoot and feedback to manufacturers
- Documentation to update standards, procedures and training
- Documentation of builder and consumer satisfaction

## The Consortium

### Manufacturers' Roles

(Tirino, Nutech Energy Systems, H.R. West Holdings Inc., MacIntyre Management Consultants Inc.)

- Research and development
- Overall design and specifications
- Negotiating with component suppliers
- Own fabrication and review of component supplier customized features
- Assembly of AIMS products

### Support

- Prioritized IRAP funding for development of AIMS products
- Benchmarking and review previous experiences
- Generic component product specifications for component suppliers
- Group purchasing power and IRAP assisted incentives for component producers

### Conclusions

- Project establishing good will between government, utilities and manufacturers
- Project gaining momentum with associated expectations
- Launched this summer, with a tight timeframe (three years)

# HOT2000™

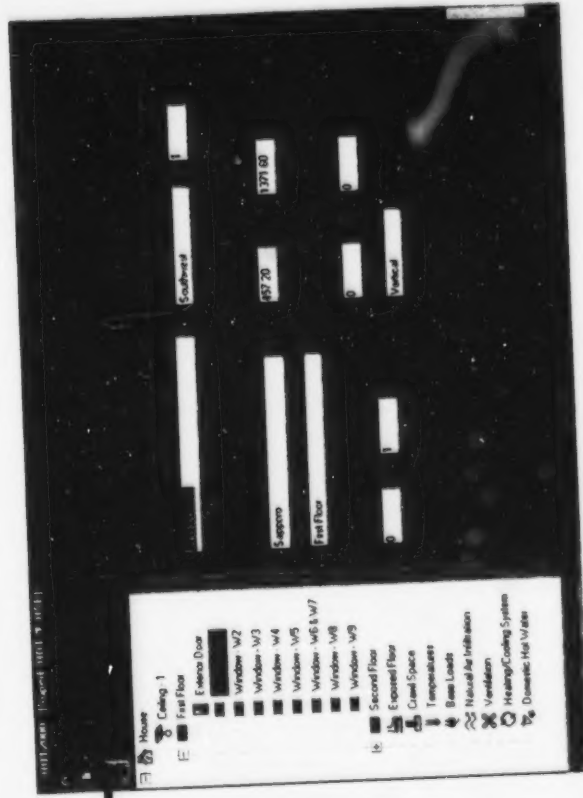
**HOT2000™ conducts a monthly energy balance of a house design to determine potential energy (space heating, water heating, appliances and lighting) requirements. The monthly energy balance includes monthly and hourly bin analyses of specific building components and mechanical systems. HOT 2000™ contains the following technical modelling features.**

## Above-Grade Envelope Components

- Effective thermal resistance calculated from construction details, including accounting for thermal bridging and compression of insulation in the attic along the eaves
- pop-up lists allow entry of insulation thermal resistance values for individual building components (e.g. walls, floors, ceilings)
- up to 10 entries per building component
- building main wall and roof components include solar surface heating
- monthly heat loss calculated based on area, effective insulation and temperature bin analysis that uses setpoint temperature, average monthly temperature and standard deviation of temperature

## Window Components

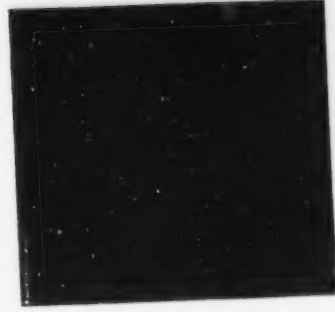
- East, west, north, south, southeast, southwest, northeast and northwest window orientation entered for passive solar gain calculations
- thermal resistance values and solar heat gain coefficients for each window calculated based on 6-digit code defining glazing type, coatings, gas fill, window type, spacer and frame
- window shading effect accounted for by overhang geometry information
- shutters on individual windows accounted for using empirically derived shutter closure periods based on latitude and solar position
- window reorientation feature reorients all windows by changing south-facing window orientation
- two or more windows can exchange orientation without affecting remaining orientation



- incident solar radiation calculated for windows and skylights based on orientation, and for any upward-tilting angle from 0-90 degrees
- monthly passive solar gain calculated from interior temperatures and temperature swings, available solar gains, house heating loads and building mass heat storage parameters

## Foundation and Below-Grade Building Components

- regression-based algorithm calculates heat loss as a function of thermal and geometrical properties (insulation resistance, height, depth, width, length) and site conditions (soil conductivity, water-table depth, weather) for above- and below-grade time-dependent heat losses



### Space Cooling Systems

- modelled using hourly temperature and heat loss bin distribution
- models conventional, ventilation and economizer air conditioning systems
- estimates required rated capacity, indoor fan flow rate and fan power for sizing air conditioning
- model includes impact of thermal storage and changes due to opening and closing windows
- impact of outside humidity on the inside latent load included
- variations of COP and air conditioner capacity with outdoor temperature modelled
- dehumidification by air conditioner is modelled
- loss of efficiency due to part-load operation modelled
- users enter either SEER or steady-state efficiencies



- heat balance performed bin by bin on basement, crawl space and walkout foundations, accounting for heat exchange, internal gains and air infiltration
- open, sealed, and ventilated crawl spaces are modelled
- modelling of slab on grade foundations, accounting for insulation, skirts, and connection between slab and wall
- interior/exterior wall insulation, thermal break between slab and wall and connection between foundation and first storey wall all accounted for in basement modelling
- houses with multiple foundations (e.g. basement and crawlspace) can be modelled
- supports non-rectangular floor plans
- supports custom foundations modelled in BASECALC

### Infiltration and Ventilation Heat Losses

- use fan depressurization test results or airtightness type to determine natural air infiltration
- monthly wind- and temperature-induced infiltration is calculated
- minimum continuous ventilation derived from R-2000 guidelines (based on CSA Preliminary Standard F326.1) or entered directly
- HRV efficiencies modelled using test data at 0°C and -25°C
- effect of direct heat transfer on HRV effectiveness accounted for by using hourly bin analysis of temperatures against an efficiency profile curve
- fan and pre-heater energy consumptions derived to account for effect of direct heat transfer on HRV effectiveness
- effect of heat transfer and air leakage from HRV supply and exhaust ducts accounted for

### Space Heating Systems

- default steady-state efficiencies used but furnace type, fuel, capacity, efficiency and pilot light energy consumption may be entered by user
- use either seasonal or steady-state efficiencies
- space heating heat pumps modelled using an hourly temperature and heat loss bin distribution

### Domestic Hot Water Heating Systems

- can calculate solar domestic water heating systems
- primary and secondary water heating system combinations are modelled
- DHW energy consumption accounts for standby losses, flue loss, water temperature, intake temperature, room temperature, location and occupancy

### Internal Heat Gains

- includes standby losses for DHW systems, interior electrical use, pre-heater energy and occupant heat energy
- monthly gain utilization derived from available gains, heating loads, temperatures and utilization parameters

# HOT2000™

## 月間エネルギー量

HOT2000™は、住宅のエネルギー収支を計算して、必要な熱負荷(室内暖房器、給湯装置、家庭用電気器具、照明器具)を予測する。あらゆる住宅設計、機械設備について毎月・毎時のバイナリー分析が可能。HOT 2000™は以下のようにモデル化されている。

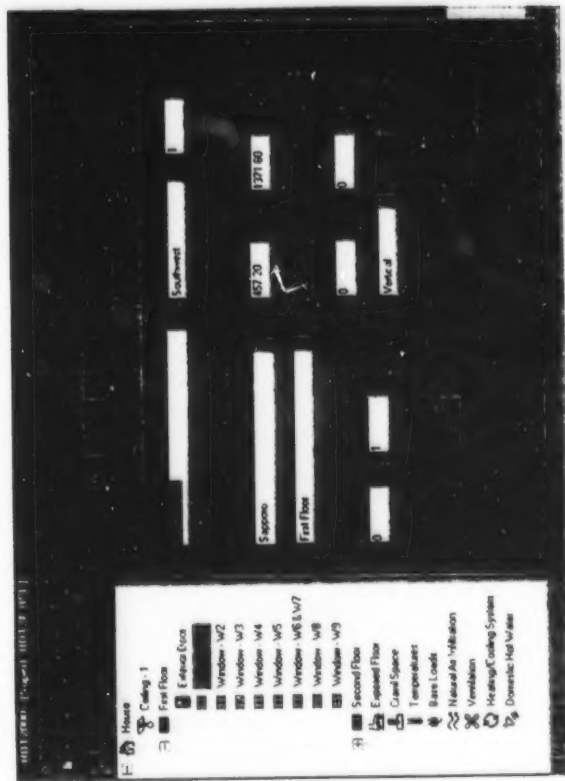
## 外 被

建築設計図から熱橋を含む有効熱抵抗値を算出

- ポップアップリストを使用して各建築部材(例: 壁、床、天井など)の熱抵抗値を入力
- 各壁体の構成部材は10項目まで入力可能
- 壁・屋根の正確な日射受熱量を計算
- 面積、熱抵抗等の建築モデルと、設定温度、月平均温度、温度の標準偏差を使用して月間熱損失量を算出

## 窓

- 窓の各方位(東、西、北、南、南東、南西、北東、北西)に対する日射熱取得を算出
- 6桁のコードを用いてガラスの種類、コーティング、ガス充填、窓、スペーサー、窓枠の種類を設定し、各窓の熱抵抗値と日射侵入率を算出
- 張出し部の形状寸法を入力し、窓の日射遮蔽率を評価
- 緯度と太陽の位置を基に、経験的に得たシャッター閉鎖時間を用いて各窓のスケジュールを決定
- 南向き方位を変更するだけでなく、一度に2つ以上の窓方位の変更が可能



- 窓と天窓の方位および0°~90°の上向き傾斜角を基に入射日射量を算出
- 室内温度、温度変化、利用可能な日射熱取得、暖房熱量、建物熱容量を基に、月間の利用可能な日射熱取得を算出

## 基礎・地下室

- 熱特性・形状寸法(絶縁抵抗、高さ、奥行き、幅、長さ)および立地条件(土壌伝導性、地下水面深度、気候)の関数として、地上および地下の熱損失量を回帰アルゴリズムを基に算出





- 熱交換、内部熱取得、換気量に基づいて地下室・床下空間・基礎の熱収支を計算
- 開放・密閉・換気型床下空間のモデル化
- 基礎・接地板の断熱材・スカート・継手をモデル化して、スラブと壁の間の熱移動を予測
- 内壁・外壁の断熱材、スラブ、基礎・1階壁間の接合部をすべて評価した地下室のモデル化
- 複数の基礎(例:地下室と床下空間)がある住宅のモデル化
- 長方形以外の床面もサポート
- 特別な基礎もサポート:BASECALCでモデル化

## 漏気・換気による熱損失量

- 換気扇減圧試験結果または気密性を基に空気の漏気率を算定、月間の風・温度の影響による漏気率を算出
- R-2000ガイドライン(CSA 予備標準F326.1準拠)または直接入力による必要最少限の換気率の入力
- 0℃、-25℃の試験データを用いたHRVのモデル化
- 効率曲線に対する温度の毎時分析を用い、HRVの熱伝達特性を評価
- HRVの熱交換効率に換気扇・プレヒーターのエネルギー消費量を見積もる
- HRVの給排気ダクトからの熱伝達・漏気を評価

## 暖房設備

- 定常状態の効率はデフォルト設定、ただし、暖房の種類、燃料、容量、効率、パイロットランプのエネルギー消費量についてはユーザー入力
- 季節効率または定常状態の効率のいずれかを使用
- 毎時刻の温度あるいは熱損失量からヒートポンプのエネルギー使用を算定

## 冷房設備

- 毎時刻の温度あるいは熱損失量を用いた室内冷房負荷計算
- 従来型・換気型・節約型空調設備のモデル化
- 必要とされる定格容量、室内換気量・電力の予測
- 窓の開閉による熱移動と蓄熱量をモデル化
- 屋外湿度が室内潜熱負荷に与える影響を考慮
- 屋外湿度を基にしたCOP(エネルギー効率)と空調装置容量のモデル化
- 空調装置の除湿のモデル化
- 各室空調のモデル化
- ユーザーは季節効率または定常効率のいずれかを入力



## 給湯設備

- 太陽熱を利用した家庭用給湯設備の評価
- 主・補助給湯装置の組み合わせのモデル化
- 家庭用給湯装置のエネルギー消費量を、待機損失、排気筒損失、水温、室温、吸気温度、設置場所、居住者条件に応じて計算

## 室内熱取得

- 家庭用給湯設備の待機損失、プレヒーター・エネルギー、家電機器、在室者の発熱・エネルギー
- 利用可能な内部熱取得、暖房熱量、温度、日射熱取得から、月間の熱取得利用量を算出

# Compact Heat Exchanger Evaluation for Natural Convection Applications

S.J. Harrison, J. Purdy, Solar Calorimetry Lab, Dept. of Mechanical Engineering, Queen's University

## Introduction

- one of the most widely used applications of solar energy is heating water
- cold Canadian climate requires use of anti-freeze solution
  - addition of a heat exchanger
- evolved to systems that utilize natural convection to circulate water
  - eliminates the need for one pump
  - leads to large temperature fluctuations

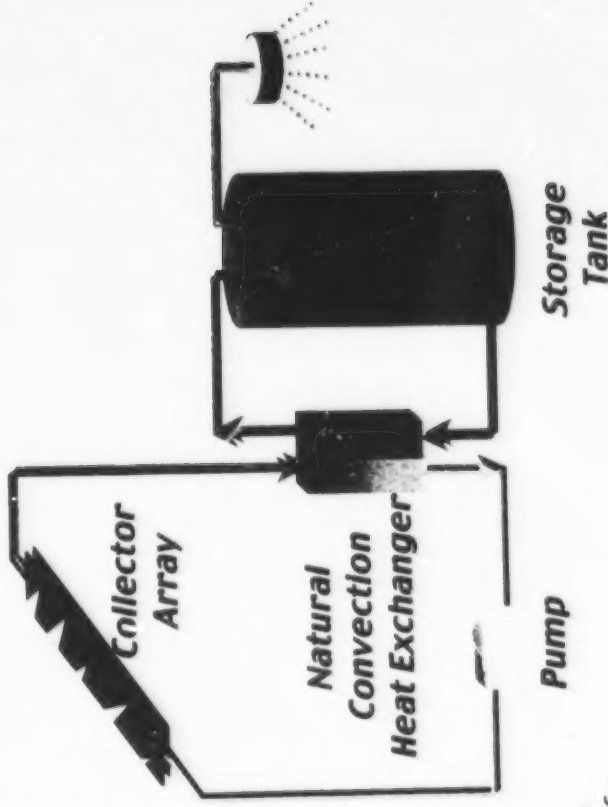
## Study Objectives

- characterization of commercially available compact heat exchangers
  - determination of natural convection heat exchanger (NCHE) performance characteristics
- model for performance simulation
  - for use in SDHW systems for Canadian climate

## Heat Exchangers

- transfer energy between two fluids at different temperatures
- heat exchanger performance
  - control volume and energy balance

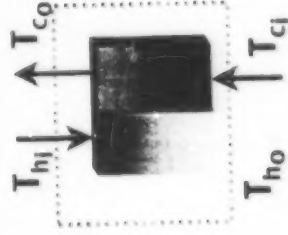
$$Q = (\dot{m} c_p)_c (T_{c_o} - T_{c_i}) = (\dot{m} c_p)_h (T_{h_i} - T_{h_o})$$



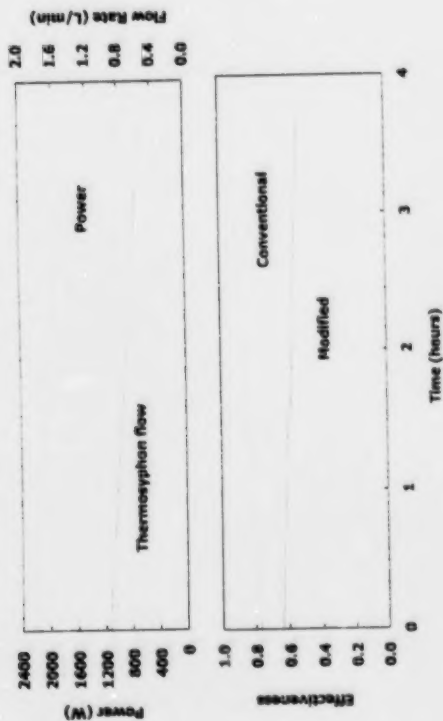
- effectiveness based on forced flow on both sides of the heat exchanger
- modified effectiveness for natural convection

$$\epsilon = \frac{Q_{\text{actual}}}{Q_{\text{max}}} = \frac{(\dot{m} c_p)_c (T_{c_o} - T_{c_i})}{(\dot{m} c_p)_h (T_{h_i} - T_{c_i})}$$

$$\epsilon_{\text{mod}} = \frac{Q_{\text{actual}}}{Q} = \frac{(\dot{m} c_p)_c (T_{c_o} - T_{c_i})}{(\dot{m} c_p)_h (T_{h_i} - T_{c_i})}$$

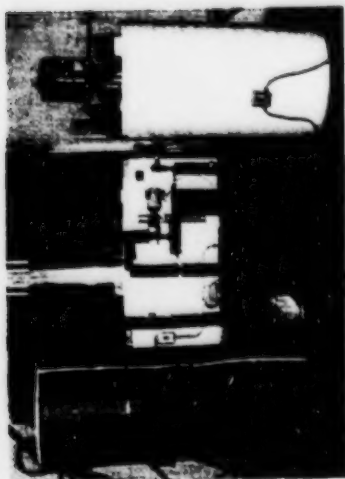


## Experimental Analysis

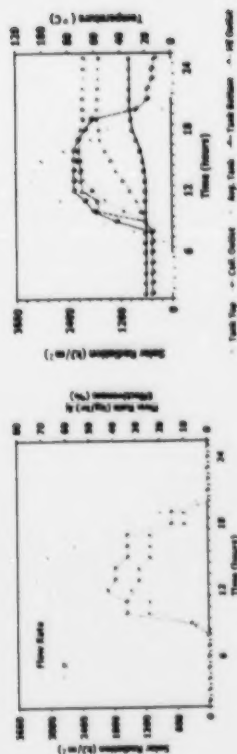


## Simulation

- transient simulation of system performance
- empirical model
  - correlation of effectiveness, pressure drop, and flow characteristics
  - for a specific geometry, NCHE can be characterized by



## Simulation Results



## Conclusions

- performance of natural convection heat exchanger is dependent on
  - heat transfer characteristics, pressure drop characteristics, temperatures within solar system, and level of charge in solar storage tank

## Acknowledgements

London Hydro, Mike Noble, Solar Calorimetry Lab, Dept of Mechanical Engineering, and Queen's University, School of Graduate Studies

# コンパクトな自然対流・熱交換器の設計・評価

S.J. Harrison, J. Purdy, Solar Calorimetry Lab, Dept of Mechanical Engineering, Queen's University

## はじめに

- 太陽エネルギーの最も一般的な利用方法: 水加熱
- 厳寒(カナダ)な気候への対応: 不凍液の使用
  - 熱交換器の必要性
- 自然対流による水循環装置の開発
  - ポンプの無駄を省く: ポンプ1台のみ
  - 優れた熱交換

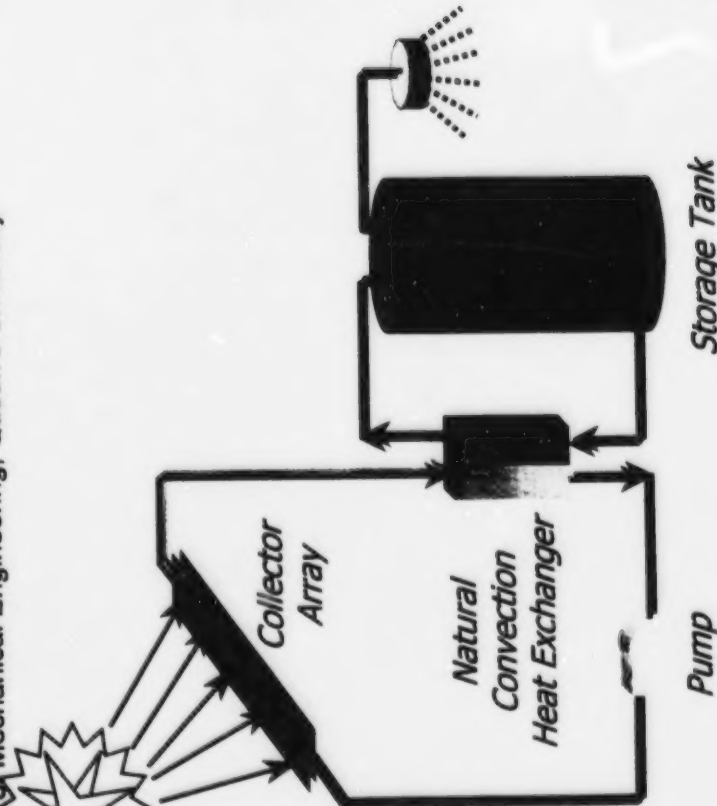
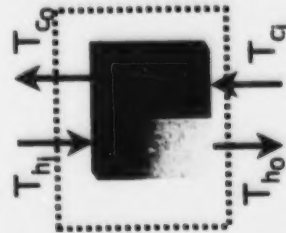
## 研究目的

- 商業用のコンパクトな熱交換器の設計
  - 自然対流熱交換器 (NCHE) の特性把握
- シミュレーションモデルの作成
  - カナダの気候に適したSDHWシステムの予測

## 熱交換器

- 温度の異なる2種液体間の熱伝達
- 熱交換器の性能
  - コントロールボリュームと熱収支

$$Q = (\dot{m} c_p)_c (T_c - T_c) = (\dot{m} c_p)_h (T_h - T_h)$$

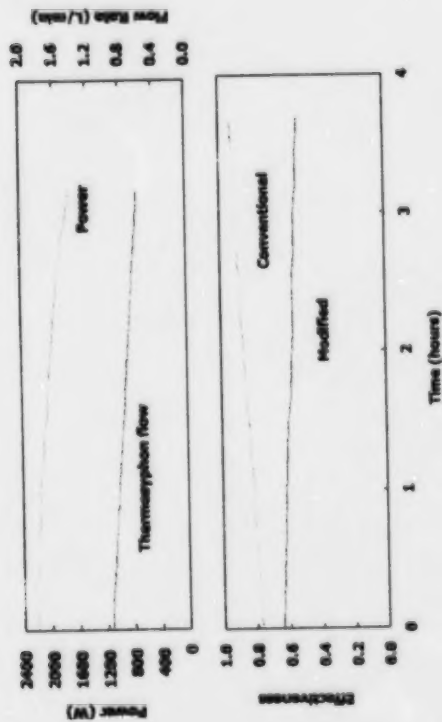


- 強制対流の熱交換効率
- 自然対流の熱交換効率(強制対流の式の修正)

$$\epsilon = \frac{Q_{actual}}{Q_{max}} = \frac{(\dot{m} c_p)_c (T_{c2} - T_{c1})}{(\dot{m} c_p)_{max} (T_h - T_c)}$$

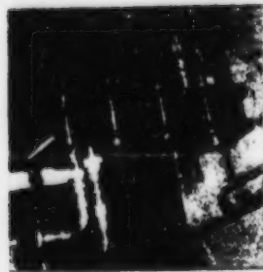
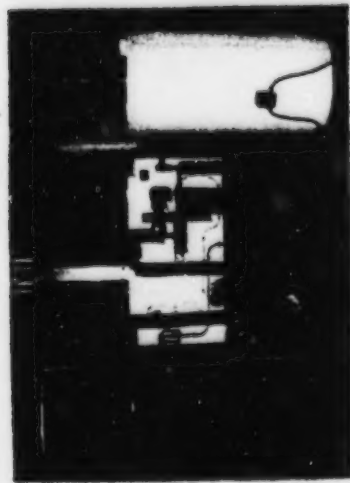
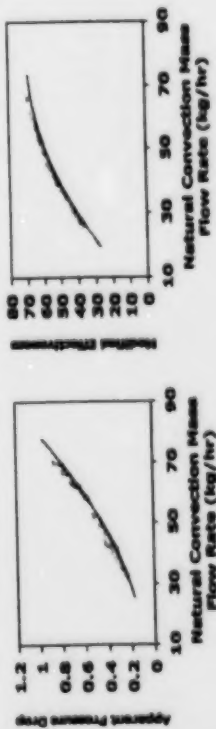
$$\epsilon_{mod} = \frac{Q_{actual}}{Q_h} = \frac{(\dot{m} c_p)_c (T_{c2} - T_{c1})}{(\dot{m} c_p)_h (T_h - T_c)}$$

## 実験解析

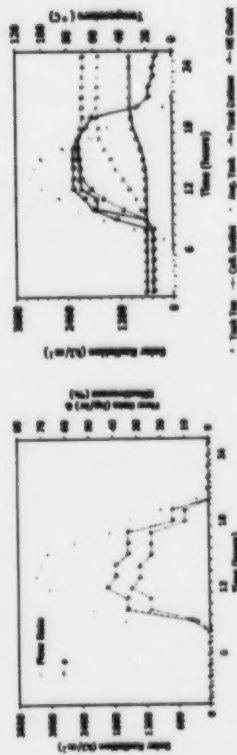


## 数値シミュレーション

- システム性能の動的シミュレーション
- 実験モデル
  - ・ 効率・圧力降下・流れ特性の関係
  - ・ 特定の解析条件下におけるNCHEの特性



## 数値シミュレーションの結果



## むすび

- 自然対流熱交換器の性能に影響する要因
  - ・ 熱伝達特性
  - ・ 圧力降下特性
  - ・ ソーラーシステムの温度特性
  - ・ 蓄熱タンクの水量

## 謝 辞

本研究は、ロンドン電力会社、クイーンズ大学機械工学科太陽熱量測定研究室、マイク・ノーブル氏、クイーンズ大学大学院の協力によるものである。



## What is the Commercial Building Incentive Program?

Allen Carpenter, Maria Mottilo, Natural Resources Canada, Buildings Group

Natural Resources Canada's Commercial Building Incentive Program (CBIP) offers a financial incentive for the incorporation of energy efficiency features in new commercial/institutional building designs. The objective of this new incentive is to encourage energy-efficient design practices and to bring about lasting changes in the Canadian building design and construction industry. A financial incentive of up to \$80,000 will be awarded to building owners whose designs meet CBIP requirements. An eligible building design must demonstrate a reduction in energy use by at least 25% when compared to the requirements of the Model National Energy Code for Buildings. The duration of the program will be from April 1, 1998, to March 31, 2001.

### CBIP Buildings:

Richmond City Hall, Office Building, Richmond, B.C.



#### Highlights

- Featured integrated, design team interaction with a focus on sustainability
- Gross floor area of 11,150 m<sup>2</sup>
- Underground parkade of 7,430 m<sup>2</sup>
- Expected occupancy of up to 310 people
- Eight-storey administration tower with a two-storey multipurpose wing and a circular council chambers.
- Two-storey open atrium connecting two-storey wing and administration tower
- Direct and indirect lighting with daylighting in perimeter offices
- Occupancy sensors in meeting rooms controlling lighting and ventilation
- Space conditioning primarily using a four-pipe fan coil system for most spaces
- Energy use 26.4% lower than required by Canada's Model National Energy Code



### Highlights

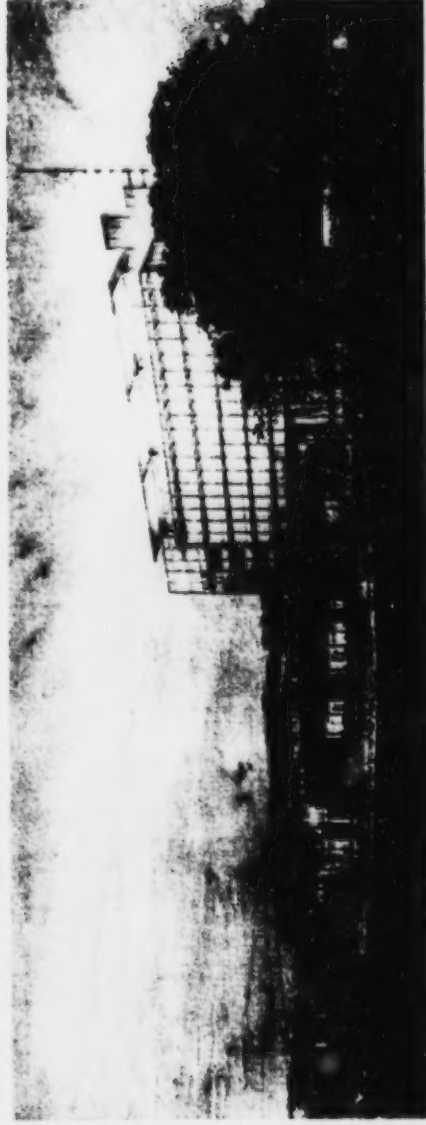
- Private-public partnership
- Design-build, owner occupied high school
- 15,885 m<sup>2</sup>: Student population 1,050, Teachers & Staff 60.
- Naturally lit atrium for cafe-style food service
- Full space conditioning using a water-to-air heat pump system and a 40 km horizontal heat exchange loop under adjacent playing fields
- 100% fresh air heat (sensible and latent) recovery with 95% efficient filtration down to 0.3 microns.
- Occupancy sensors for lighting and water use.
- Energy use 42% lower than required by Canada's Model National Energy Code

## 商業用ビル推奨プログラム: What is the Commercial Building Incentive Program?

Allen Carpenter, Maria Mottilo, Natural Resources Canada, Buildings Group

カナダ天然資源省の商業用ビル推奨プログラム(CIBP)は、新しい商業用・企業用のビルディングの設計に、エネルギー効率の上で、画期的な経済性をもたらすものです。目的とするところは、省エネ設計施工の奨励、およびカナダの建築設計、建築産業に長期的な変革を引き起こすことです。CIBPの基準を満たす設計によるビルディングの所有者には、\$80,000までの奨励金が給付されます。この基準に該当するビルディングの設計であるためには、消費エネルギーが建造物用全国エネルギー基準法(Model National Energy Code for Buildings)の基準より、少なくとも25%削減されていることを証明する必要があります。このプログラムの実施期間は1998年4月1日から2001年3月31日までです。

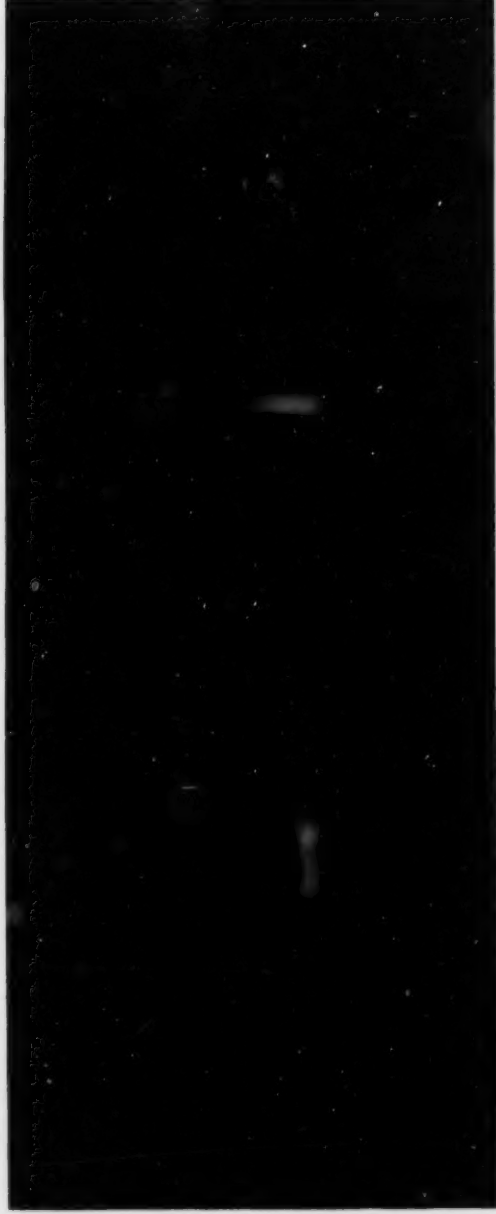
**CBIP Buildings:** リッチモンド 市庁舎, Richmond, B.C.



### Highlights

- 持続性に焦点をあて、諸特徴を統合するデザイン
- 総床面積 11,150 m<sup>2</sup>
- 地下駐車場 7,430 m<sup>2</sup>
- 予想占有人数 310人まで
- 8階建ての本部事務室のタワー、2階建て多目的ウィング、円形の議会会議室
- 2階建てのウィングと本部事務室を結ぶ、2階吹き抜けのアトリウム
- 外側に面しているオフィスからの、太陽の光による直接、間接的な採光
- 集金室の照明、換気をコントロールする自動反応センサーの使用
- 建物の大部分に、主として4パイプ・ファン・コイルシステムによる暖冷房システムの設置
- 消費エネルギーはカナダの全国エネルギー基準より26.4%低い

## Horton High School, High School, Greenwich, Nova Scotia



### Highlights

- 官・民によるパートナーシップ
- 設計・施工に当たったオーナーはこの高校を占有
- 15,885 m<sup>2</sup>、生徒数1,050人、教員およびスタッフ60人
- カフェテリアは自然採光によるアトリウム
- 水-空気式ヒート・ポンプ・システムによる暖冷房システム  
隣接する運動場の下に、40kmの水平熱交換環状管を配置
- 95%の防塵効果(0.3ミクロンのフィルター)のある熱(顕熱・潜熱)  
交換型換気装置
- 照明および水の使用に、自動反応センサーを使用
- 消費エネルギーはカナダ全国エネルギー基準より42%低い

# A PLAN FOR THE MEDIUM-SIZED BUILDING WITH LARGE SPACE, USING ENGINEERED WOOD AND INSULATION PANELS AND ITS INSTANCE

Jun-ichi Tezuka, Dr., President, J-Architecture System Inc., Masashi Iida, Dr., Assoc. Prof., Hokkaido Institute of Tech.,  
Hiroaki Kikuchi, Dr., Emeritus Prof., Hokkaido Institute of Tech., Jun-ichi Endo, President, OPS Architecture Design Inc

## Introduction

This is a report of the church whose total floor space is about 200m<sup>2</sup>, which was built in Sapporo on May 9th, 1998. It summarizes the plan and the evaluation of construction of the medium-sized wooden building with panelized outside wall and roof, which has engineered wood in its main frames and special joint hardware.

## The plan for structure and space

We used assembled frames to hold the large space in this church and to accentuate the design of wood as well. The frames have four different kinds to improve the design image. The frame pitch is 2.7m. The frames connect tightly to the main frames, using special J-connector to sub-beams. The plan we carried out was to fix the insulation panels to the outside wall and roof, and to locate those panels outside the main frame, considering the improvement of construction at the building site.

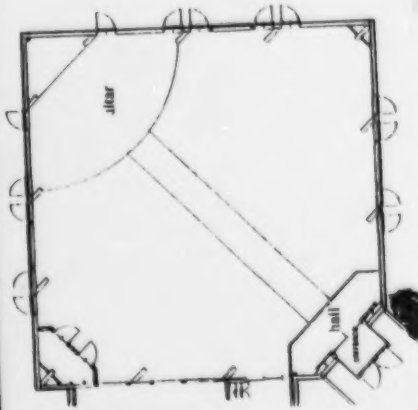


Fig. 1 Plan

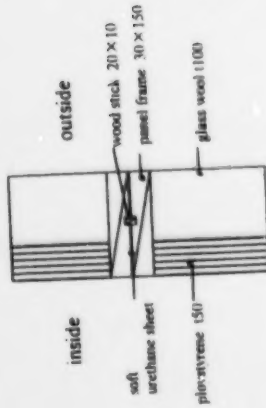


Fig. 2 The joint detail of the panels

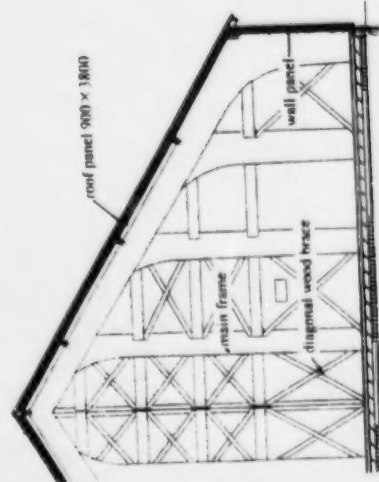


Fig. 3 Section



Fig. 4 Fixing the roof panel

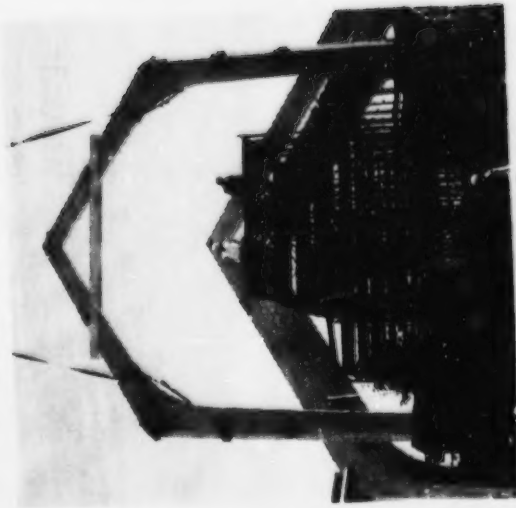


Fig. 5 Lifting the Main frames



### J-Connector

The J-connector used to the sub-beam of the main frame, shown in Fig. 6, 7 is a connector for post and beam, and a steel pipe is installed aslant to the J-connector at the edge of the webblade. According to the numerical analysis using computer, which can be seen in Fig. 8, the security against the destruction was proven well.

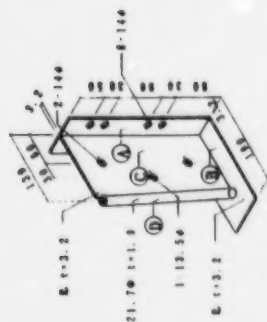
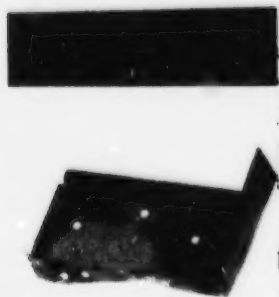


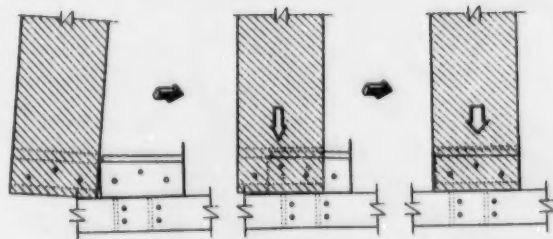
Fig. 7 The outline of J-connector



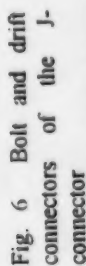
**Fig. 8 Three dimensional linear static analysis**

## Construction and cost

- (1) It took 2 days for building main frames by 10 framers.
- (2) The installation of panels for roof was  $16.2\text{m}^2/\text{mandays}$ .
- (3) The installation of panels for outside wall was  $10.0\text{m}^2/\text{mandays}$
- (4) According to the builder, it would require one month more to build a same size building without using the insulation panels at the building site.
- (5) The total cost of construction was US \$420,000, and the main frames and the connecting hard ware accounted for 32% of it, making panels and installation 10%.



**Fig. 9 Installation of the beam to the J-connector**



**Fig. 10** The assembly seen below

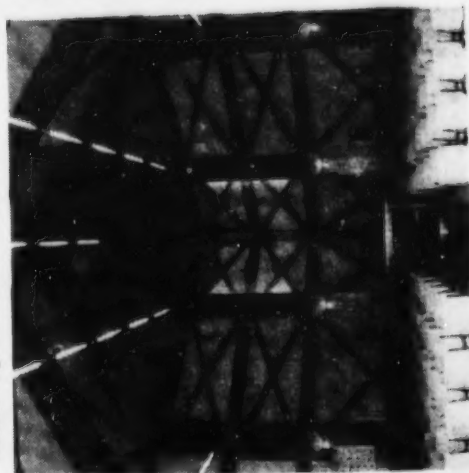
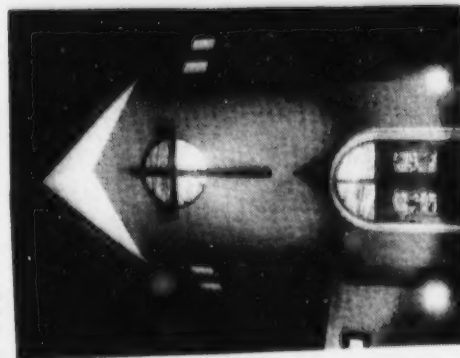


Fig. 11 The interior of the church



**Fig. 12 The exterior**

# エンジニアードウッドとパネルを用いた中規模大空間建築物の計画とその実施例

手塚 純一: J建築システム株式会社 代表取締役、工博  
 菊地 弘明: 北海道工業大学 名誉教授、工博

飯田 雅史: 北海道工業大学 助教授、工博  
 遠藤 順一: OPS設計 代表取締役

はじめに 本報告は延床面積約 200 m<sup>2</sup> の教会の聖堂で、1998 年 5 月 9 日に札幌市に建設された、主要軸組にエンジニアードウッドの構造用集成材、そして特殊なジョイント金物を用い、外壁・屋根をパネル化した中規模木造建築物の計画と施工性の評価をまとめたものである。

構造・空間計画 建物は室内空間の利用目的より湾曲集成材 (3 ヒンジ・フルウェーブラーメン) で大空間を構成し、また木質材の意匠性をも強調するためタテ・ヨコ 14.1m の正方形プランに対し、45 度の対角とした変形フレイムである。フレイムピッチは 2.7m とし、ジョイント金物 (J-Connector) をつなぎ梁の木口を用い、メインフレイムに剛性をもつて接続している。外壁・屋根は断熱材を挿入したパネルを計画、現場施工性の向上を図りパネルの取り付け位置は軸組の外側とした。屋根は傾斜屋根で、雪止めの機能を持ったスノーストッパータイプとし落雪の危険を低減させている。

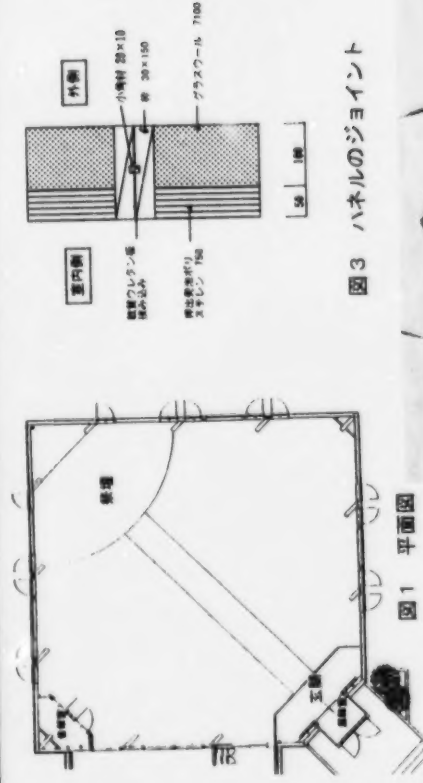


図 1 平面図

図 3 ハネルのジョイント

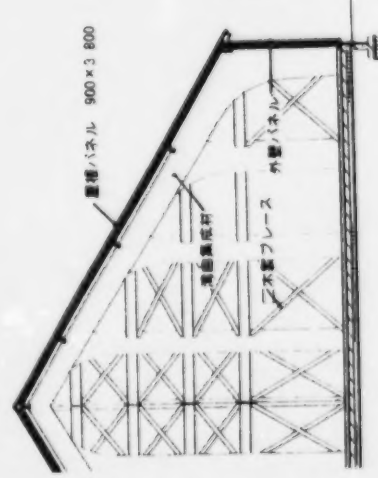


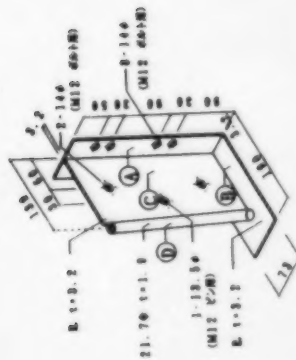
図 2 断面図



写真 1 屋根ハネルの取付

写真 2 メインフレイムの組立て

## 主要構造材(1)



## 5 J-Connector

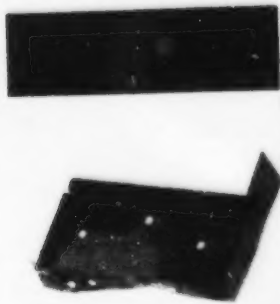
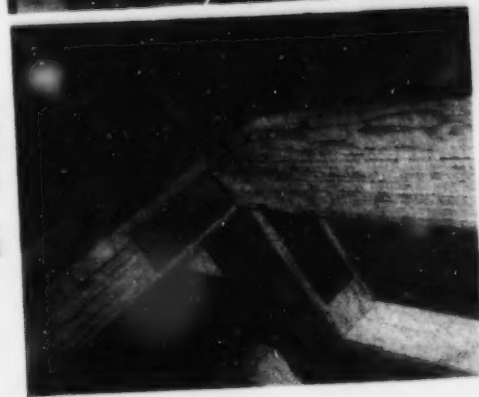


图6 3次元解析

施工と工事費

- 1) メインフレームは10人で2日間で設置を完了した。
- 2) 屋根パネル(108枚)の取付は16.5 m<sup>2</sup>/人/工の歩掛かりであった。
- 3) 外壁パネル(90枚)では10.0 m<sup>2</sup>/人/工で屋根より低下した。これは、外壁は水平に近い作業姿勢であるのに対し、外壁は垂直姿勢が多いためである。
- 4) 施工者によると、同規模の建物をパネル化しないので施工すると、あと1ヵ月は工期は必要とのこと。
- 5) 総工事費は約5千万円、そのうちフレームと接合金物の工事費は約32%、パネルの工事費は10%であった。

图4 柱·梁接触面



### 写真3 柱と梁のジョイントの状態

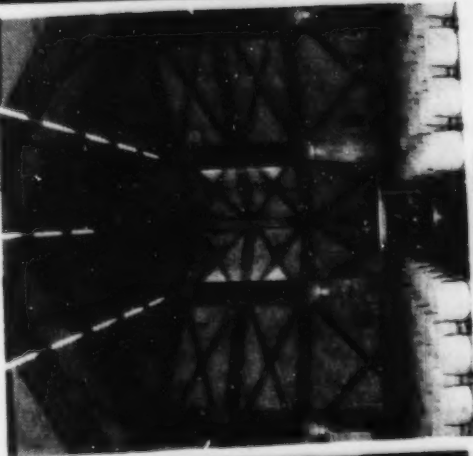


写真4 聖堂内の様子

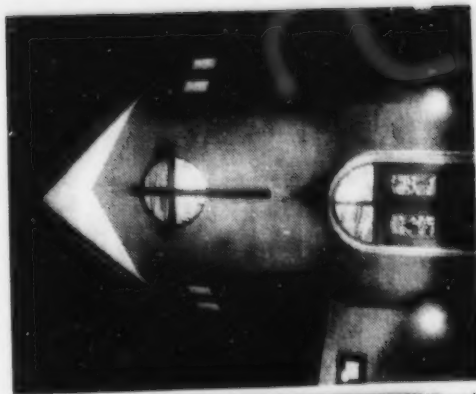


写真5 外觀

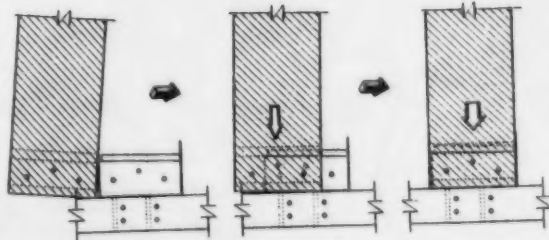


図7 柱・梁接合の様子



# Canadian Centre for Housing Technology Centre canadien des technologies résidentielles

## Mission Statement

The Canadian Centre for Housing Technology will accelerate the development of new technologies and their acceptance in the marketplace. The goal is to improve the quality, affordability, and environmental sustainability of Canadian housing, and thereby supporting domestic and global market opportunities.

The centre will achieve this by: 1) assessing the performance of new technologies and their influence on total house performance, and 2) by showcasing innovative construction technologies that improve whole-house performance. A broader range of new construction technologies will be accommodated at CCHT or directed to appropriate research facilities.

The initial focus is new energy efficient technologies that CCHT or directed to appropriate research facilities. The Centre will be technologies transfer and linkages to other sources of Canadian housing industry information will be a key theme. The Centre will be information developed and run through a Government/industry partnership.

The exterior walls are covered with a rigid foam board which acts both as an air barrier and insulator.

The CCHT Research Homes. Shown, the Sierra Model designed and built by Minto Development Inc.

## CCHT Research House Specifications House Characteristics

- General
  - House built by Minto Development Inc. 1990 building (Sierra Model)
  - 4 bedrooms, 2 1/2 bathrooms, single family detached
  - 1000 sq. ft. floor area, 1000 sq. ft. lot area
  - Weather Trench, single wood clad wall
  - Basement: unfinished

- Energy Program
  - Verification system with a Heat Recovery Ventilator (HRV)
  - HRV exhaust pathways in the basement and up by 1000-1000 ft. (1000-1000 ft.)
  - Leak Rate: 1.5 ACH50 (1000 ft. lot area) (1000-1000 ft.)
  - Energy use: 1.5 ACH50 (1000 ft. lot area) (1000-1000 ft.)
  - Energy use: 1.5 ACH50 (1000 ft. lot area) (1000-1000 ft.)

Model: 8-1000 (see 1000 results) of 1.1 and 1.30 ACH50 @ 50 Pa.

## 3. Mechanical Systems Air Circulation

- Heat Recovery Ventilator (HRV)
  - HRV exhaust pathways in the basement and up by 1000-1000 ft. (1000-1000 ft.)
  - HRV exhaust pathways in the basement and up by 1000-1000 ft. (1000-1000 ft.)
  - HRV exhaust pathways in the basement and up by 1000-1000 ft. (1000-1000 ft.)

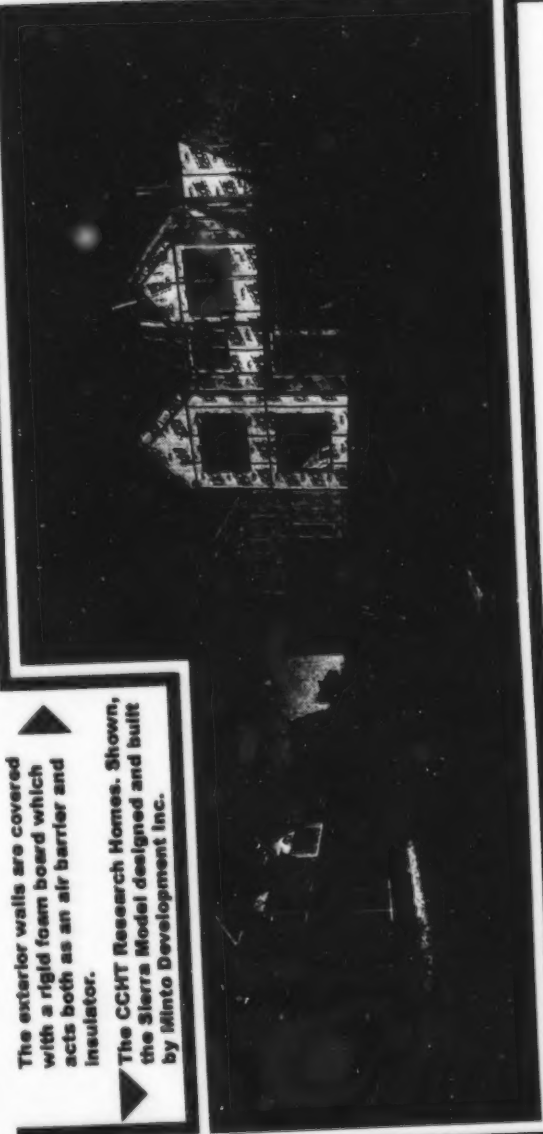
## Heating & Cooling

- Conditioning gas furnace
  - Natural Gas (NG) 100,000 Btu/hr
  - HRV exhaust pathways in the basement and up by 1000-1000 ft. (1000-1000 ft.)
  - HRV exhaust pathways in the basement and up by 1000-1000 ft. (1000-1000 ft.)

## Ductwork & Ductwork

- Uninsulated duct (see building envelope)
- HRV exhaust pathways in the basement and up by 1000-1000 ft. (1000-1000 ft.)
- HRV exhaust pathways in the basement and up by 1000-1000 ft. (1000-1000 ft.)

For information contact: IRC - Client Services, tel. (613) 993-1231



For information contact: IRC - Client Services, tel. (613) 993-1231

# **CCHT Research House Specifications**

## **House Characteristics**

### **1. General**

- Houses built by Minto, certified R-2000 builders (Sierra Model)
- 4 bedroom, 2 storey, 9'-0" ceiling, single family detached
- Square plan, floor area = 204.5 m<sup>2</sup> (2206 ft<sup>2</sup>), volume = 794.3 m<sup>3</sup> (28072 ft<sup>3</sup>)
- Platform frame, single wood stud wall
- Southern orientation

### **2. R-2000 Program**

- Ventilation system with a Heat Recovery Ventilator (HRV)
- HRV exhaust pickups in the bathrooms and kitchen (CSA-F326-M91)
- Less than 1.5 ACH when tested for air leakage by CGSB2-149.10-M86
- Energy target of 103991 MJ (with Hot2000 result of 101633 MJ)
- A minimum of two R-2000 inspections both interim and final

**Note:** R-2000 fan test results were of 1.1 and 1.28 ACH @ 50 Pa.

### **3. Mechanical Systems**

#### **Air Circulation**

- Heat Recovery Ventilator (HRV)
  - Forced air system
  - Ventilation supply and exhaust ducts in basement
  - Total Heat Recovery Efficiency in Cooling mode = 26 %
  - Continuous ventilation capacity of 70 l/s
  - HRV efficiency of 84% @ 0°C

#### **Heating & Cooling**

- Condensing gas furnace
  - Natural Gas powered
  - Input capacity of 50,000 Btu/hr
  - Output capacity of 47,000 Btu/hr
  - AFUE 90.0 %
- Domestic Water Heater
  - Induced draft fan heating equipment
  - Hot surface ignition type with power side wall venting
  - 50 US gal. capacity (189.3 litres)
  - Energy Factor = 0.59
- Air-Conditioning
  - Central A/C integrated with the Heating system
  - High Efficiency unit (5 kW capacity)
  - Condenser with high S.E.E.R.<sup>3</sup> 12 (Reduce energy consumption)
  - Sensible Heat Ratio = 0.760
  - Fan Power = 233.5 Watts
- Fireplace and furnace are sealed combustion direct vent systems

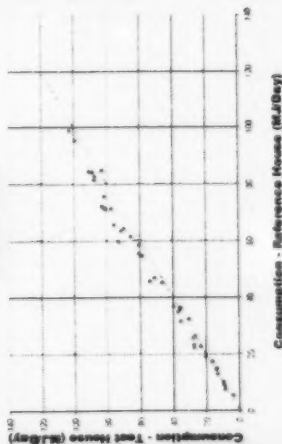




## Canadian Centre for Housing Technology

## Centre canadien des technologie résidentielles

Comparison of Energy Consumption of Air Conditioning in the CCHT  
Research Houses



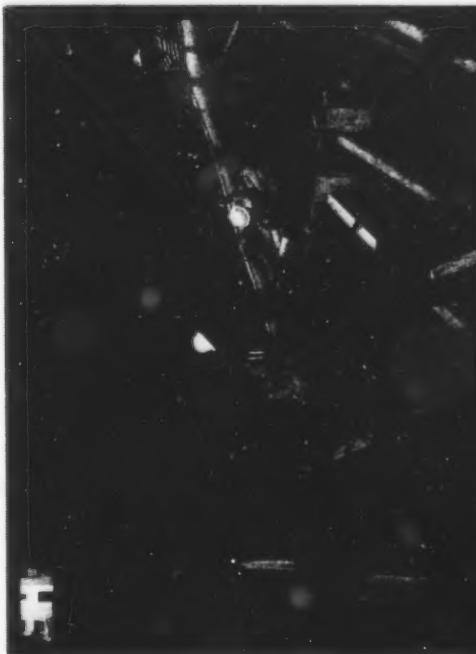
The Canadian Centre for Housing Technology is dedicated to accelerating the development and acceptance of new technologies for the housing industry. Located on the National Research Council's campus in Ottawa, the CCHT is co-sponsored by the National Research Council (NRC), Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC), and two branches within Natural Resources Canada (NRCan) - the CANMET Energy Technology Centre and the Program on Energy Research and Development.

Preliminary results showing a house to house comparison of the energy consumption of the air conditioners.

**For information: IRC - Client Services, tel. (613) 993-1231**

### Research and Development

Founded on the premise that "the house is a system", the Centre uses its research houses to evaluate the impact of innovative products and alternative construction techniques on total house house performance. Research and testing play key roles in development. Since its conception, the Centre has made great strides in regards to its objectives. Research projects such as "Indoor Air Quality" testing, the "Gas Combo Project" and the InfoCentre's use of the world's first self-leveling concrete foundation as well as an electrically conductive concrete floor slab in the basement, have helped make the Centre a world leader.



The exterior foundation walls of the InfoCentre are the world's first ever house sized pour of self-leveling, high-performance concrete.

A basement floor of the InfoCentre features electrically conductive concrete, a first-time application of this technology in a real building.



# Field Measurements on the Performance of PV System in a House

Tokai University

Sachiko Hirota, Taisei Inoue, Hajime Abe and Shunroku Tanaka

## 1. Introduction

In Japan, the electric power has been mainly depending on fossil fuel. The amount of fossil fuel is limited and thermal power plants generate carbon dioxide. The peak demand is shown in daytime in summer and the differences in the electricity demands between daytime and nighttime and among seasons are large. In order to reduce the electricity cost, it is required to flatten the demand curve.

Under this situation, natural and clean "new energy" has been drawing much attention. Photovoltaic energy, one of such energy, has a large potential as an alternative energy to oil. This paper presents the results of the field measurement in a house equipped with a photovoltaic power generation system to identify its validity in an actual house.

## 2. The house measured in this study

The house, located in Tokyo, which has a water-type heat collector, an attached green house and well-water-FCU, as well as photovoltaic power generation system was designed as an environment friendly house. The floor of house is 142 m<sup>2</sup>. (see Table 1)

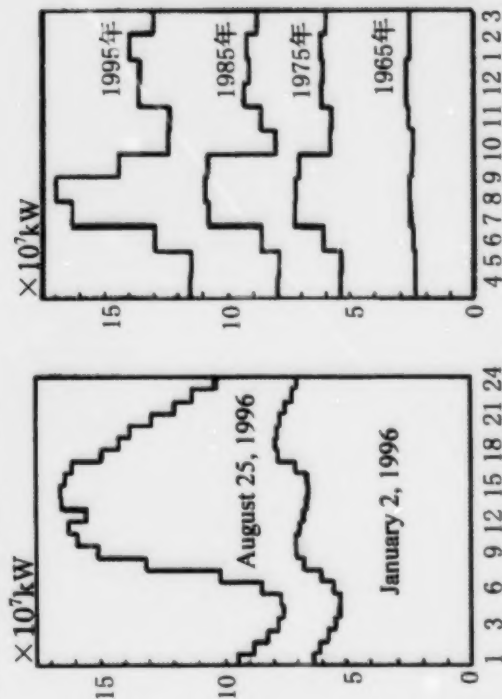


Figure 1 Electricity consumed in Japan (day) Figure 2 (month)

Table 1 The house measured in this study

Duration	from July, 1996 to November, 1997
Location	Nakano, Tokyo
Structure	Residence(4 people) wood and steel, 2 floors
photovoltaic power generation system	poly-crystal silicon solar battery an angle of declination: 21.8 degrees 0.83(m <sup>2</sup> ) x 40 arrays nominal generating power : 3.28kW power efficiency: 10.7 %

### 3. Result

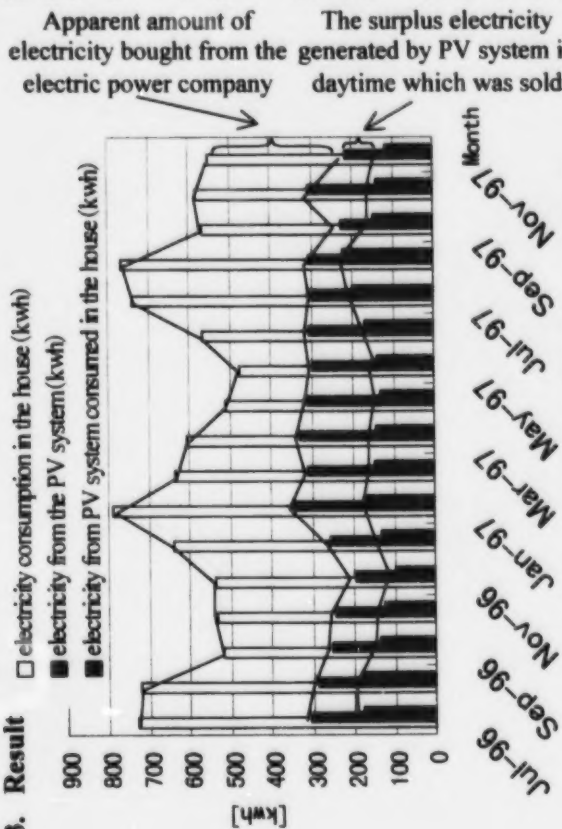


Figure 3 Electricity generated and consumed

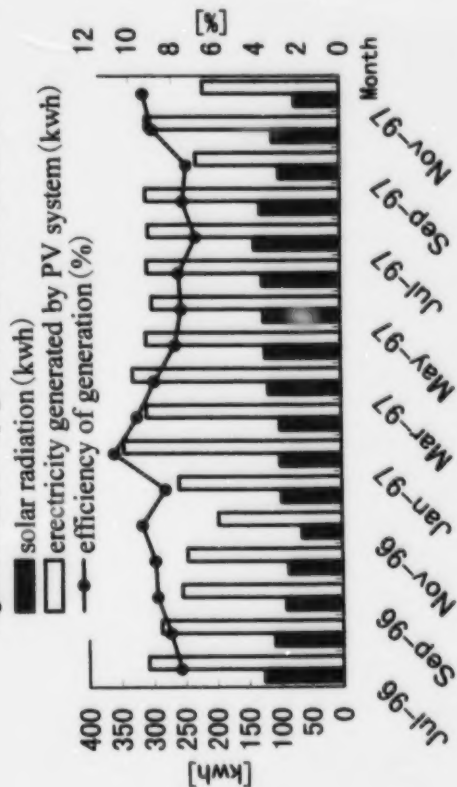


Figure 4 Solar radiation and the efficiency of the generation (after inverter conversion)

Peak load of electricity consumption was shown in summer and winter. (see white bar in Figure 3)  
The generation of electricity is high in summer and winter (see black bar in Figure 3)

↓  
When the power demand is large, the electricity generation by the system is large.

↓  
It is effective to flatten the electricity demand curve.  
A half of the annual electricity consumption was covered by the PV system.

No strong correlation was found between the efficiency of the generation and the amount of solar radiation (see Figure 4), because higher temperature of array surface possibly decreases the efficiency of electricity generation. Therefore the efficiency in summer was low, but the total amount of the electricity generated in summer was not lower than in the other seasons.

### 4. Conclusions

Although a public subsidy system of Japan shares the cost for the PV system installed in a house, the aid is not enough and the owner must bear the most of the cost which cannot be compensated by the gain from the PV system. This study shows that the system worked well but the cost effect was small. Considering the great possibility of PV system as a clean alternative energy, adopting the PV system to residential dwellings is recommended. In order to make the PV system more attractive for residential dwellings, lower initial cost and higher generation efficiency should be achieved.

# 住宅における太陽光発電システムに関する実測研究

東海大学

廣田幸子, 井上泰生, 阿部元, 田中俊六

## 1. はじめに

日本における発電電源は、大部分が化石燃料である。これらは有限であり、燃焼すると二酸化炭素を排出する。日本では電力負荷のピークは図-1'、図-2'より夏の昼間であり、昼夜間・季節間の差が大きく、発電コストを高くしているため、これらを平らにするピークカットが叫ばれている。また、エネルギー消費が増え続ける一方で、COP3では日本は6%の温暖化ガスの削減が取り決められた。

本研究では枯渇することなくクリーンな新エネルギーとして注目される太陽光発電システムについて、実際の住宅でどのように働き、どの程度有効であるのかを実測し検討した。

## 2. 計測について

東京都内の閑静な住宅街にある計測対象の住宅は、太陽光発電システムの他に、太陽熱利用給湯システム、付設温室、井水利用FCU冷房システム等を導入しており、環境共生型の住宅を意識して計画されたものである。計測の概要について表-1に示す。

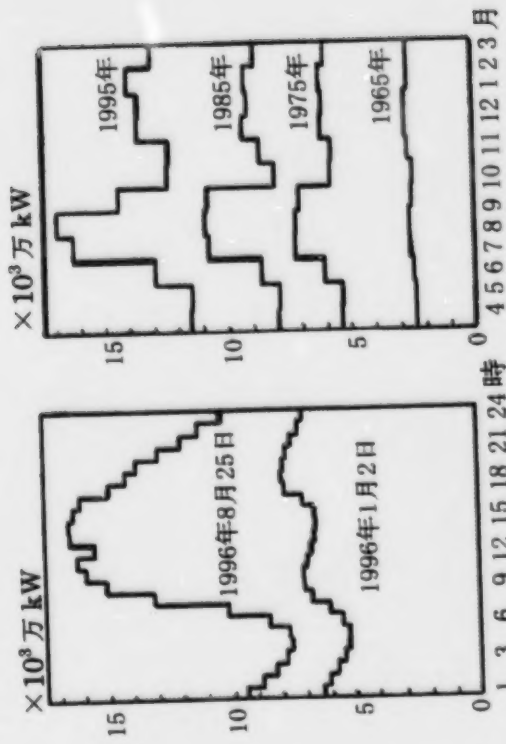


図-1 電力需要 (日)

図-2 電力需要 (月)

表-1 計測対象概要

実測期間	1996年7月～1997年11月
実測場所	東京都中野区 住宅 (4人家族) 木造 (一部鉄骨) 2階建て
太陽電池システム	多結晶シリコン太陽電池 設置傾斜角度21.8° (真南向き) 0.83 $\text{m}^2 \times 40$ 枚のアレイ 公称出力3.28kW
	発電効率 (カタログから) 10.7%

### 3. 結果

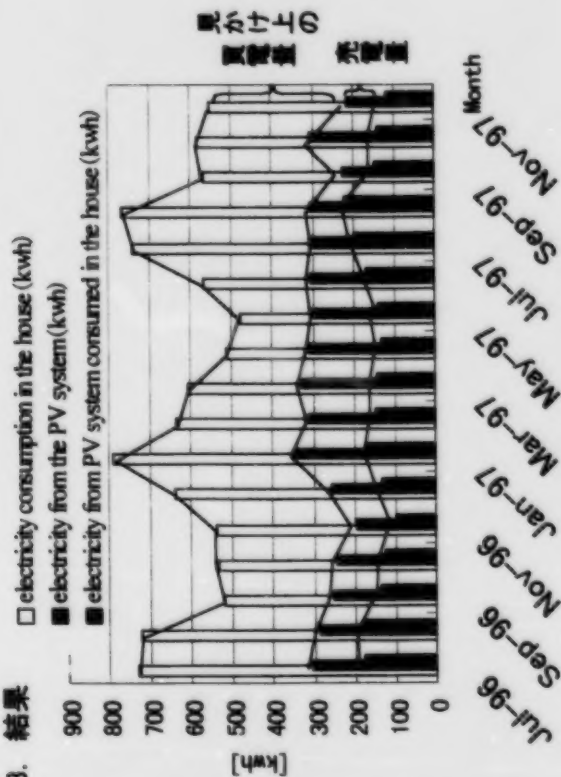


図-3 発電量と使用電力量

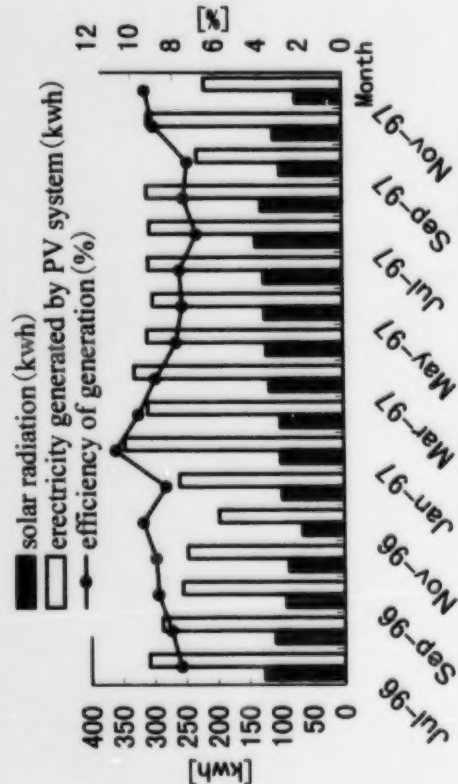


図-4 日射量と発電効率(インバータ変換後)

図-3 より夏季と冬季に月別の電力使用量のピークがあるが、発電量も多かった。見かけ上の買電量=総電力使用量-総発電量とすれば、電力使用量の多いときでも約半分を太陽光発電で補えたことになった。

図-4 より発電効率は日射量に依存していないかった。このことは発電を行うアレイ面の温度が、高温になると発電効率が低下するためであると考えられる。しかしながら発電効率が下がっただけで、夏季の発電量自体の落ち込みは見られなかった。

### 4. 結論

現在、太陽光発電システムの設置に対して国などから補助金が交付される制度があるが、自己負担分は未だ多く、太陽光発電システムは試算上で償却はできないと言われている。しかし需要電力のピークカットや年々増加する消費電力量の一部を、枯渇もせずクリーンな太陽エネルギーによって賄うことができるならば、その有効性、効果から見ても導入されるべきである。それには太陽光発電が消費者にとつてより魅力的であることが必要で、イニシャルコストの低減、または発電効率の向上が重要だと考えられる。

### [参考文献]

- 1) エネルギー教育研究会：現代エネルギー・環境論，電力新報社，pp122-123





## **Delegates List／出席者リスト**



# List of Participants / 参加者リスト

## Explanatory Notes / 凡例

- : Speaker / 発表者
- : Poster Presenter / ポスターセッション参加者
- ⊗ : Chairperson / 議長・司会者
- : Workshop Organizing Committee / 実行委員会メンバー

## Fifth Canada-Japan Housing R&D Workshop Canadian Participants

**Jeff Armstrong** ●  
President  
DAC International  
3140 Carp Rd  
Carp ON K0A 1L0  
Tel: 613 839-0888  
Fax: 613 839-0939  
Email: [dacarm@netcom.ca](mailto:dacarm@netcom.ca)

**Roy Bourque**  
Kanalflakt  
50 Kanalflakt Way,  
P.O. Box 2000  
Bouctouche NB E0A 1G0 Tel:  
506 743 9500  
Fax: 506 743 9600  
Email: [general@kanalflakt.com](mailto:general@kanalflakt.com)

**Normand Breton**  
Underwriters' Laboratories of  
Canada  
7 Course Road  
Scarborough ON M1R 3A9  
Tel: 416 757 3611  
ext-61238  
Fax: 416 757 8915

**Earl Caldwell**  
President  
Nu-Air Ventilation Systems Inc  
RR3, Box 6  
Newport NS B0N 2A0  
Tel: 902 757-1910  
Fax: 902 757-1702  
Email: [nuair@nu-airventilation.com](mailto:nuair@nu-airventilation.com)

**Frank Campbell** ⊗  
Director CANMET Energy  
Technology Centre  
Natural Resources Canada 1  
Haanel Drive, Bldg. #3 Bells  
Corners Complex  
Nepean ON K1A 1M1  
Tel: 613 996 5419  
Fax: 613 995-9584  
Email: [fcampbel@nrcan.gc.ca](mailto:fcampbel@nrcan.gc.ca)

**James Clugston**  
Halliday Homes Canada  
Box 99  
Carleton Place ON K7C 3P4  
Tel: 613 257 7546  
Fax: 613 257-3445  
Email: [jclug@cyberus.ca](mailto:jclug@cyberus.ca)

**Bryan Cook** ⊗  
Director General  
Energy Technology Branch  
Natural Resources Canada 580  
Booth Street, 13th floor  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 996 8109  
Fax: 613 947-1016  
Email: [bcook@nrcan.gc.ca](mailto:bcook@nrcan.gc.ca)

**Jeff Culp**  
Oxford Media Group  
524 Dundas Street,  
Upper Front  
Woodstock ON N4S C5  
Tel: 519 539 9762  
Fax: 519 539 7063  
Email: [jculp@execulink.com](mailto:jculp@execulink.com)

**Joan Dalrymple**  
General Manager  
Atlantic Canada Business  
Centre, Canada Mortgage &  
Housing Corp.  
P.O. Box 9315, Station "A"  
Halifax Shopping Centre  
Tower 1 Suite 300  
Halifax, NS B3K 5W9  
Tel: 902 426 1813  
Fax: 902-426-9991  
Email: [jdalrymp@cmhc-schl.gc.ca](mailto:jdalrymp@cmhc-schl.gc.ca)

**Bruno Di Lenardo** ■  
National Research Council of  
Canada Canadian Construction  
Materials Centre  
Montreal Road  
Building M-24  
Ottawa ON K1A 0R6  
Tel: 613 993 7769  
Fax: 613 952 0268  
Email: [bruno.di\\_lenardo@nrc.ca](mailto:bruno.di_lenardo@nrc.ca)

**Francois Dubrous** ☼  
Research Manager,  
Buildings Group  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 13th floor  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 943 0951  
Fax: 613 996 9909  
Email: [fdubrous@nrcan.gc.ca](mailto:fdubrous@nrcan.gc.ca)

**Gabe Farkas**  
Icynene Inc.  
#110-5805 Whittle Road  
Mississauga ON L4Z 2J1  
Tel: 905 890 7325  
Fax: 905 890 7784  
Email: [gfarkas@icynene.com](mailto:gfarkas@icynene.com)

**David Graham**  
Export Council of Canadian  
Architecture (ECCA)  
901-1575 Beach Ave.  
Vancouver BC V6G 1Y5  
Tel: 604 681 2831  
Fax: 604 682 8578  
Email: [dmgraham@istar.ca](mailto:dmgraham@istar.ca)

**Dave Hiebert**  
General Sales Manager  
BC & Asia Pacific  
Loewen Windows  
#100 - 11100 Bridgeport Rd  
Richmond BC V6X 1T2  
Tel: 604 279 9181  
Fax: 604 279 9189  
Email: [dave.hiebert@loewen.com](mailto:dave.hiebert@loewen.com)

**Duncan Hill** ●  
Canada Mortgage & Housing  
Corporation (CMHC)  
700 Montreal Road  
Ottawa ON K1A 0P7  
Tel: 613 748 2402  
Fax: 613 748 2984  
Email: [dhill@cmhc.schl.gc.ca](mailto:dhill@cmhc.schl.gc.ca)

**Kimi Ito**  
President  
K. Ito & Associates Ltd. #120 -  
2323 Boundary Road  
Boundary Business Centre  
Vancouver BC V5M 4V8  
Tel: 604 205 5222  
Fax: 604 205 5255  
Email: [ito@helix.net](mailto:ito@helix.net)

**Roger M. Johnson**  
Vice President - Sales &  
Marketing  
Nutech Energy Systems Inc.  
511 McCormick Blvd. London  
ON N5W 4C8  
Tel: 519 457 1904  
Fax: 519 457 1676  
Email: [nutech@lifebreath.com](mailto:nutech@lifebreath.com)

**Sayaka Kawano**  
Atlantic Canada Home  
96 Kensington Road  
Charlottetown PE C1A 5J4  
Tel: 902 368 8461  
Fax: 902 368 8463

**Kevin Lee** ●  
Project Manager  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 13th floor  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 947 9824  
Fax: 613 996 9909  
Email: [klee@nrcan.gc.ca](mailto:klee@nrcan.gc.ca)

**Chris Lindal**  
Viceroy Homes  
414 Croft Street East  
Port Hope ON L1A 4H1  
Tel: 905 885 8600  
Fax: 905 885 8362  
Email: [japan@viceroy.com](mailto:japan@viceroy.com)

**Charlie MacArther** ○  
Manager, Research and  
Information Transfer, Export  
and International Centre  
CMHC - Atlantic  
Atlantic Business Centre  
Box 9315, Stn. A  
Halifax NS B3K 5W9  
Tel: 902 426 8529  
Fax: 902 426 9991  
Email:  
[cmacarth@cmhc-schl.gc.ca](mailto:cmacarth@cmhc-schl.gc.ca)

**Neil MacLeod**  
Director General  
Office of Energy Efficiency  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 18th flr.  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 995 0081  
Fax: 613 947 4120

**Chris Mattock** ●  
Director  
International Eco House  
1662 West 75th Avenue  
Vancouver BC V6P 6G2  
Tel: (604) 264-7944  
Fax: (604) 264-7955  
Email:  
[mattock@helix.net](mailto:mattock@helix.net)

**Tim Mayo** ■  
Manager R-2000 Home  
Program  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 18th floor  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 996 0777  
Fax: 613 943 1590  
Email:  
[tmayo@nrcan.gc.ca](mailto:tmayo@nrcan.gc.ca)



**Barbara Mullally Pauly** ●  
Chief  
Residential Programs  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 18th flr.  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 995 2945  
Fax: 613 943 1590  
Email:  
[bmullall@nrcan.gc.ca](mailto:bmullall@nrcan.gc.ca)

**Harunobu Murakami**  
National Research Council  
Montreal Road, Bldg. M 20  
Ottawa ON K1A 0R6  
Fax: 613 952 0268

**Stephen Murray**  
Executive Director,  
Trade Development  
Enterprise P.E.I.  
4<sup>th</sup> floor,  
25 University Avenue  
Holman Building  
Charlottetown PE  
Tel: 902 368 5781  
Fax: 902 368 6350  
Email: [smurray@gov.pe.ca](mailto:smurray@gov.pe.ca)

**Rob Oakie**  
Atlantic Canada Home  
96 Kensington Road  
Charlottetown PE C1A 5J4  
Tel: 902 368 8461  
Fax: 902 368 8463  
Email: [achome@isn.net](mailto:achome@isn.net)

**Dave Olafson** ○  
Corporate Representative  
CHMC  
119 Kent Street  
Charlottetown PE C1A 1N3  
Tel: 902 566 7339  
Fax: 902 566 7350  
Email:  
[dolafson@cmhc-schl.gc.ca](mailto:dolafson@cmhc-schl.gc.ca)

**Aki Ozaki** ●○  
Buildings Group  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 13th floor  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 996 1321  
Fax: 613 996 9909  
Email:  
[aozaki@nrcan.gc.ca](mailto:aozaki@nrcan.gc.ca)

**Dimitri Procos** ●  
Technical University of Nova  
Scotia  
P.O. Box 1000  
Halifax NSB3J 2X4  
Tel: 902 492 2716  
Fax: 902 423 6672  
Email: [procos@tuns.ca](mailto:procos@tuns.ca)

**Terry Pulsifer**  
Canadian Homes Inc.  
R.R. #2 Tantallon  
Site 5 Box 28  
Halifax County NS B0J 3J0  
Tel: 902 826 1994  
Fax: 902 826 7484  
Email:  
[pulsifersnest@ns.sympatic](mailto:pulsifersnest@ns.sympatic)  
[o.ca](mailto:o.ca)

**Mark Riley** ⊗  
Chief  
Buildings Group  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 13th floor  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 996 8151  
Fax: 613 996 9909  
Email: [mriley@nrcan.gc.ca](mailto:mriley@nrcan.gc.ca)

**Jacques Rousseau** ●⊗  
Manager  
CMHC  
Innovation Centre for Highrise  
& Multiples, Research Division  
700 Montreal Rd  
Ottawa ON K1A 0P7  
Tel: 613 748 2013  
Fax: 613 748 2402  
Email:  
[jroussea@cmhc-schl.gc.ca](mailto:jroussea@cmhc-schl.gc.ca)

**Ken Ruest** ●  
Canada Mortgage & Housing  
Corp. (CMHC) 700 Montreal  
Road  
Ottawa ON K1A 0P7  
Tel: 613 748 2329  
Fax: 613 748 2329  
[kruest@cmhc-schl.gc.ca](mailto:kruest@cmhc-schl.gc.ca)

**Brian Schmeisser**  
Sr. Development Officer  
Atlantic Canada Opportunities  
Agency  
2nd flr-75 Fitzroy Street,  
International Trade Centre,  
P.O. Box 1115  
Charlottetown PE C1A 7M8  
Tel: 902 566 7422  
Fax: 902 566 7450  
Email:  
[schmeisser.brian@cbasc.ic](mailto:schmeisser.brian@cbasc.ic)  
[gc.ca](mailto:gc.ca)

**Gary Sharp**  
Post Harvest Developments  
1423 Houston Crescent  
Kanata ON K2W 1B6  
Tel: 613 591 6587  
Fax: 613 591 2404

**John Shaw** ●⊗  
Senior Researcher  
NRC/IRC  
Montreal Rd Laboratories,  
Building M-24  
Ottawa ON K1A 0R6  
Tel: 613 993 9702  
Fax: 613 954-3733  
Email: [john.shaw@nrc.ca](mailto:john.shaw@nrc.ca)

**Yukihiro Shiokawa** Section  
Chief-Sales  
Loewen Windows  
P.O. Box 2260  
Steinbach MB R0A 2A0  
Tel: 1 800 563 9367  
Ext- 361  
Fax: 204 326 5227

**Robin Sinha** ●⊗○  
Research Manager  
Buildings Group  
Natural Resources Canada  
580 Booth Street, 13th floor  
Ottawa ON K1A 0E4  
Tel: 613 943 2260  
Fax: 613 996 9909  
Email:  
[rsinha@nrcan.gc.ca](mailto:rsinha@nrcan.gc.ca)

**Lino Siracusa** ⊗  
Manager, Research &  
Information Transfer,  
Export and International  
Centre CMHC - British  
Columbia & Yukon  
Suite 450 - 999 Canada Place  
Vancouver BC V6C 3E1  
Tel: 604 666 2940 \  
Fax: 604 666 3020  
Email:  
[lsiracus@cmhc-schl.gc.ca](mailto:lsiracus@cmhc-schl.gc.ca)

**Hisa Takeda** ■  
Research Scientist  
Building Systems - Fire  
Program  
Forintek Canada Corp.  
Suite 4100, CTTC 1125  
Colonel By Drive  
Ottawa ON K1S 5R1  
Tel: 613 523 1020  
Fax: 613 523 0502  
Email: [hisa@intranet.ca](mailto:hisa@intranet.ca)

**Minoru Ueda**  
MU Design Inc.  
1734 - 34 Ave. S.W.  
Calgary AB T2T 2B6  
Tel: 403 244 0414  
Fax: 403 244 0087  
Email: [uedam@cadvision.com](mailto:uedam@cadvision.com)

**Judy Ueda**  
MU Design Inc.  
1734 - 34 Ave. S.W. Calgary  
AB T2T 2B6  
Tel: 403 244 0414  
Fax: 403 244 0087  
Email: [uedam@cadvision.com](mailto:uedam@cadvision.com)

**Sid Watts**  
Specialty Forest Product  
Officer  
Department of Agriculture and  
Forestry  
Southern Kings and Queens  
Services Centre, 41 Wood  
Island Hill PEI  
Tel: 902 368 4707 or 902  
838 0632  
Fax: 902 368 4713  
Email: [sawatts@gov.pe.ca](mailto:sawatts@gov.pe.ca)

## List of Participants / 参加者リスト

### Explanatory Notes / 凡例

- : Speaker / 発表者
- : Poster Presenter / ポスターセッション参加者
- ◎ : Chairperson / 議長・司会者
- : Workshop Organizing Committee / 実行委員会メンバー

### 第5回カナダ/日本住宅 R&D ワークショップ

#### Japanese Participants

**Shoji Aoto**  
Chief Engineer &  
Development  
Sweden House Co.  
23F Carrot Tower, 4-1-1  
Taishido, Setagaya-ku,  
Tokyo 154-0004  
Tel: 81 3 5430 1171  
Fax: 81 3 5430 7689  
青砥 尚二  
スウェーデンハウス(株)  
開発部  
〒154-0004 東京都世田谷区  
太子堂 4-1-1 キャロットタワー 23 階  
Tel 03-5430-1171  
Fax 03-5430-7689

**Kazuaki Bogaki** ○◎●  
Director of Environment  
Design & Fire Dept.  
Ministry of Construction  
Building Research Institute  
Environment, Design & Fire  
Department  
1 Tatehara, Tsukuba-shi  
Ibaraki 305-0802  
Tel: 81298 64 6672  
Fax: 81 298 64 6775  
Email: bogaki@kenken.go.jp  
坊垣 和明  
建設省建築研究所 第5研究  
部長  
〒305-0802 茨城県つくば市

立原 1 番  
Tel 0298-64-6672  
Fax 0298-64-6775

**Yoshitaka Fuji**  
Chairman R-2000 Technical  
Committee Japan 2x4 Home  
Builders Association  
18F Shinjuku-Mitsur Bldg.,  
2-1-1 Nishi-shinjuku  
Shinjuku-ku Tokyo 163-0415  
Tel: 81 3 3346 4613  
Fax: 81 3 3346 4400  
藤井 良隆  
(社)日本ツーバイフォー建築  
協会技術部会長  
〒163-0415 東京都新宿区西  
新宿 2-1-1 新宿三井ビル 18 階  
Tel 03-3346-4613  
Fax 03-3346-4400

**Yasuyuki Fujiwara** ◎●  
Director Wooden Housing  
Division  
Housing Bureau,  
Ministry of Construction 2-  
1-3 Kasumigaseki,  
Chiyoda-ku, Tokyo 100-0013  
Tel: 81 3 3580 4311 (3931)  
Fax: 81 3 3592 2502  
藤原 保幸  
建設省住宅局住宅生産課  
木造住宅振興室長

〒100-0013 東京都千代田区  
霞が関 2-1-3  
Tel 03-3580-4311(内 3931)  
Fax 03-3592-2502

**Akira Fukushima** ●  
Hokkaido Prefectural Cold  
Region Housing and Urban  
Research Institute  
24-ken, 4-1 Nishiku, Sapporo  
063-0804  
Tel: 81 11 621 4257  
Fax: 81 11 621 4215  
福島 明  
北海道立寒地住宅都市研究所  
居住環境科  
〒063-0804 北海道札幌市西  
区 24 軒 4-1  
Tel 011-621-4257  
Fax 011-621-4215

**Hiroki Harasawa**  
Harasawa Home  
565 Arai-cho, Ohta City,  
Gunma 373-0852  
Tel: 81 276 30 2111  
Fax: 81 276 30 2117  
Email: hiroki@hrsw.co.jp  
原澤 浩毅  
ハラサワホーム(株)経営企画  
室 企画部長  
〒373-0852 群馬県太田市  
新井町 565

Tel 0276-30-2111  
Fax 0276-30-2117

**Toshio Hasegawa**  
Research Associate,  
Hokkaido University  
Nishi 8 chome, Kita 13 jo  
Sapporo-shi, Hokkaido  
060-8628  
Tel: 81 11 706 6240  
Fax: 81 11 706 7884  
長谷川 寿夫  
北海道大学大学院 工学研究  
科 助手  
〒060-8628 北海道札幌市北  
区北 13 条西 8 丁目  
Tel 011-706-6240  
Fax 011-706-7884

**Seiroku Higuchi**  
Research Associate, Dept. of  
Architecture  
University of Tokyo  
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku  
Tokyo 113-0033  
Tel: 81 3 5841 6179  
Fax: 81 3 5841 8511  
樋口 誠六  
東京大学 工学系研究科 建築  
学専攻 助手  
〒113-0033 東京都文京区本  
郷 7-3-1  
Tel 03-5841-6179  
Fax 03-5841-8511

**Sachiko Hirota**  
Tokai University  
2-28-4, Tomigaya,  
Shibuya-ku, Tokyo 151-0063  
Tel: 81 3 3467 2211  
Email: [8jcam025@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp](mailto:8jcam025@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp)  
廣田 幸子  
東海大学 建築学科  
〒151-0063 東京都渋谷区富  
ヶ谷 2-28-4

Tel 03-3467-2211

**Masashi Iida**  
Hokkaido Institute of  
Technology  
Maeda 7-15 Teine-ku,  
Sapporo 006-0817  
Tel: 81 11 681 2161  
Fax: 81 11 681 3622  
Email: [iida@hit.ac.jp](mailto:iida@hit.ac.jp)  
飯田 雅史  
北海道工業大学  
〒006-0817 北海道札幌市  
手稲区前田 7-15  
Tel 011-681-2161  
Fax 011-681-3622

**Kouichi Ikeda**  
Director, Department of  
Architectural, Hygiene The  
Institute of Public Health  
4-6-1 Shiroganedai,  
Minato-ku, Tokyo 108-8638  
Tel: 81 3 3441 7111 (279)  
Fax: 81 3 3446 4723  
池田 耕一  
国立公衆衛生院建築衛生学部  
部長  
〒108-8638 東京都港区白金  
台 4-6-1  
Tel 03-3441-7111  
Fax 03-3446-4723

**Akio Ito**  
Design Division  
Negishi Home Co.  
337-2, Kaminakai-machi,  
Takasaki-shi, Gunma  
370-0851  
Tel: 81 27 325 2400  
Fax: 81 27 325 5224  
伊藤 昭夫  
(株)ネギシホーム 設計課  
〒370-0851 群馬県高崎市上  
中居町 337-2  
Tel 027-325-2400

Fax 027-325-5224

**Yoshio Kamada**  
Executive Director  
Japan 2 X 4 Home Builders  
Association  
4F, No. 29 Mori Bldg,  
4-2-1 Shinbashi, Minato-ku,  
Tokyo 105-0004  
Tel: 81 3 3432 4581  
Fax: 81 3 3434-3918  
鎌田 宣夫  
(社)日本ツーバイフォー建築  
協会 専務理事  
〒105-0004 東京都港区新橋  
4-2-1  
Tel 03-3432-4581  
Fax 03-3434-3918

**Norimoto Kashino**  
Director of Material &  
Component  
Building Research Institute  
Ministry of Construction  
1 Tachihara, Tsukuba-shi  
Ibaraki 305-0802  
Tel: 81 298 64 6612  
Fax: 81 298 64 6772  
榎野 紀元  
建設省建築研究所 第2研究  
部長  
〒305-0802 茨城県つくば市  
立原 1 番  
Tel 0298-64-6612  
Fax 0298-64-6772

**Fumitoshi Kikuchi**  
Sr. Staff Engineer Asahi  
Glass Co.  
2-1-2 Marunouchi  
Chiyoda-ku, Tokyo  
100-8305  
Tel: 81 3 5668 8230  
Fax: 81 3 5668 8229  
菊地 文敏  
旭硝子(株) 主任技師

〒100-8305 東京都千代田区  
丸の内 2-1-2  
Tel 03-5668-8230  
Fax 03-5668-8229

**Shizuo Kitamura**

Deputy Division Manager,  
Housing Materials Division  
Ibiden Co.  
300, Aoyagi-cho, Ogaki-shi,  
Gifu 503-8503  
Tel: 81 584 89 0377  
Fax: 81 584 89 0604  
北村 静男  
イビデン(株)建材事業部 副  
事業部長  
〒503-8503 岐阜市大垣市青  
柳町 300  
Tel 0584-89-0377  
Fax 0584-89-0604

**Yoshihiko Kitazawa**

Scientific Laboratory of  
Polace 2-266-1 Azuma-cho,  
Koshigaya-shi  
Saitama 343-0826  
Tel: 81 489 87 9111  
Fax: 81 489 87 9130  
北澤 芳彦  
(株)ボラス暮らし科学研究所研  
究開発第3部 係長  
〒343-0826 埼玉県越谷市東  
町 2-266-1  
Tel 0489-87-9111  
Fax 0489-87-9130

**Yuichiro Kodama** ◎●

Professor  
Kobe Design University 8-1-  
1, Gakuennishimachi,  
Nishi-ku, Kobe-shi  
Hyogo 651-2196  
Tel: 81 78 796 2571  
Fax: 81 78 796 2571  
小玉 祐一郎

神戸芸術工科大学 環境デザ  
イン学科 教授  
〒651-2196 兵庫県神戸市西  
区学園西町 8-1-1  
Tel 078-796-2571  
Fax 078-796-2571

**Masatoshi Kudo**

Member, R-2000 Committe /  
Managing Director Tsuchiya  
Twoby Home  
No. 3 Access Bldg. 16-1,  
Teujin-cho, Hachioji-shi,  
Tokyo 192-0074  
Tel: 81 426 26 2424  
Fax: 81 426 26 2581  
工藤 政利  
R-2000 住宅委員会委員/(株)  
土屋ツーバイホーム 常務取  
締役  
〒192-0074 東京都八王子市  
天神町 16-1  
Tel 0426-26-2424  
Fax 0426-26-2581

**Yasuo Kuwasawa** ○●

Sr. Researcher, Building  
Services Division Building  
Research Institute  
Ministry of Construction  
1 Tachihara, Tsukuba-shi,  
Ibaraki 305-0802  
Tel: 81 298 64 6672  
Fax: 81 298 64 6775  
桑澤 保夫  
建設省建築研究所 第5研究  
部居住環境研究室主任研究員  
〒305-0802 茨城県つくば市  
立原 1 番  
Tel 0298-64-6672  
Fax 0298-64-6775

**Jing Liu** ●

Tohoku University  
06 Aramaki Aza, Aoba-ku,  
Sendai 980-8579

Tel: 81 22 217 7885  
Fax: 81 22 217 7886  
Email:  
liu@sabine.pln.archi.tohoku.ac.jp  
劉 京  
東北大学大学院 工学研究科  
都市・建築学専攻  
〒980-8579 宮城県仙台市青  
葉区荒巻字青葉 6  
Tel 022-217-7885  
Fax 022-217-7886

**Katsumi Matsuda**

Ast. General Manager,  
Research & Development  
Section Asahi Chemical  
Industry Co. (Housing  
Division)  
Esthetec Joho Bldg.  
1-24-1, Nishi-Shinjuku  
Shinjuku-ku, Tokyo  
160-8345  
Tel: 81 3 3344 7151  
Fax: 81 3 3344 7150  
松田 克己  
旭化成工業(株)住宅基礎技術  
室 副部長  
〒160-8345 東京都新宿区西  
新宿 1-24-1 エステック情報ビル  
Tel 03-3344-7151  
Fax 03-3344-7150

**Shuzou Matsushima**

General Manager  
Asahi-Chemical Housing  
Material Co.  
15F Imperial Tower,  
1-1-1, Uchisaiwai-cho,  
Chiyoda-ku, Tokyo 160-8550  
Tel: 81 3 3507 7894  
Fax: 81 3 3507 7699  
松島 修三  
旭化成住建(株) 取締役断熱  
材営業部長  
〒100-8550 東京都千代田区  
内幸町 1-1-1 インペリアルタワー 15F



Tel 03-3507-7894  
Fax 03-3507-7699

**Hiroyuki Minamikawa**  
Cleanpair So-Honbu Co.Ltd.  
Kingrun Bld. 4F  
1-4 Kanda Awaji-cho,  
Chiyoda-ku, Tokyo 101-0063  
Tel: 81 3 5296 3078  
Fax: 81 3 5296 3079  
南川 弘行  
キングラングループ クリー  
ンペア総本部(株)住宅関連事  
業部 部長  
〒101-0063 東京都千代田区  
神田淡路町 1-4 キングランビル  
Tel 03-5296-3078  
Fax 03-5296-3079

**Hiroaki Mori**  
Executive Director Cellulose  
Insulation Manufacturers  
Association of Japan 1008  
Fonte Aoyama,  
2-22-14 Minami-Aoyama,  
Minato-ku, Tokyo 107-0062  
Tel: 81 3 5411 1672  
Fax: 81 3 5411 1673  
毛利 宏昭  
日本セルローズファイバー工  
業界 専務理事  
〒107-0062 東京都港区南青  
山 2-22-14 フォンテ青山 1008  
Tel 03-5411-1672  
Fax 03-5411-1673

**Kuninaga Nara**  
Higa Industries, Building  
Materials Div. Shiroyama  
JT Mori Bldg. 11th flr  
4-3-1 Toranomom, Minato-ku,  
Tokyo 690-0055  
Tel: 81 3 5404 0820  
Fax: 81 3 5404 0833  
Email: [housing@higa-ind.com](mailto:housing@higa-ind.com)  
奈良 邦長

(株)ヒガ・インダストリー  
本部長付  
〒690-0055 東京都港区虎ノ  
門 4-3-1 城山 JT 森  
Tel 03-5404-0820  
Fax 03-5404-0833

**Tetsuya Noji**  
President  
Noji Architect & Associates  
509 Villa Royal Hirakawa,  
1-7-5, Hisakawa-cho,  
Chiyoda-ku, Tokyo 102-0093  
Tel: 81 3 3237 1046  
Fax: 81 3 3237 0967  
野地 哲也  
NOJI 設計一級建築士事務所  
所長  
〒102-0093 東京都千代田区  
平河町 1-7-5 ウィラロイヤル平河  
509  
Tel 03-3237-1046  
Fax 03-3237-0967

**Shoji Notsu**  
President  
Notsu Kogyo Corp.  
309-10 Tsuda-Cho,  
Matsue-shi, Shimane  
690-0055  
Tel: 81 852 25 0319  
Fax: 81 852 25 0334  
野津 正二  
野津工業 代表取締役  
〒690-0055 島根県松江市津  
田町 309-10  
Tel 0852-25-0319  
Fax 0852-25-0334

**Youji Nunoi**  
Group Leader,  
New Products Development  
Group  
Asahi Fiber Glass Co. 6-11-1,  
Ichinomiya, Samukawa-cho  
Koza-gun,

Kanagawa 253-0111  
Tel: 81 467 75 9562  
Fax: 81 467 74 4014  
布井 洋二  
旭ファイバーグラス(株)グラ  
スウール事業本部 技術開発  
部新商品開発 G  
〒253-0111 神奈川県高座郡  
寒川町一之宮 6-11-1  
Tel 0467-75-9562  
Fax 0467-74-4014

**Haruki Osawa** ○◎●  
Associate Director for Design  
Method  
Building Research Institute  
Ministry of Construction  
1 Tachihara Tsukuba-shi  
Ibaraki 305-0802  
Tel: 81 298 64 6671  
Fax: 81 298 64 6775  
大澤 元毅  
建設省建築研究所 第5研究  
部 計画システム研究官  
〒305-0802 茨城県つくば市  
立原 1 番  
Tel 0298-64-6671  
Fax 0298-64-6775

**Syuitsu Otani**  
Manager, Technical  
Supervision Section  
Government Housing & Loan  
Corporation  
1-4-10 Koraku, Bunkyo-ku,  
Tokyo 112-8570  
Tel: 81 3 5800 8164  
Fax: 81 3 5800 8210  
大谷 秀逸  
住宅金融公庫 建設サービス  
部 審査課長  
〒112-8570 東京都文京区後  
楽 1-4-10  
Tel 03-5800-8164  
Fax 03-5800-8210

**Hiroaki Saito**

Japan Testing Center for  
Construction Materials  
5-21-20, Inari, Soka-shi  
Saitama 340-0043  
Tel: 81 489 35 1994  
Fax: 81 489 31 8684  
斉藤 宏昭  
(財)建材試験センター  
〒340-0043 埼玉県草加市稲  
荷 5-21-20  
Tel 0489-35-1994  
Fax 0489-31-8684

**Yoshihei Sakabe** ○

General Manager  
Japan 2x4 Home Builders  
Association 4F No. 29  
Mori Bldg. 4-2-1, Shinbashi,  
Minato-ku, Tokyo 105-0004  
Tel: 81 3 3432 4581  
Fax: 81 3 3434 3918  
坂部 芳平  
(社)日本ツーバイフォー建築  
協会技術部 次長  
〒105-0004 東京都港区新橋  
4-2-1 第29森ビル4階  
Tel 03-3432-4581  
Fax 03-3434-3918

**Yuzo Sakamoto** ○◎●

Professor  
University of Tokyo  
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku,  
Tokyo 113-0033  
Tel: 81 3 5841 6181  
Fax: 81 3 5841 8511  
坂本 雄三  
東京大学大学院 工学系研究  
科建築学専攻 教授  
〒113-0033 東京都文京区本  
郷 7-3-1  
Tel 03-5841-6181  
Fax 03-5841-8511

**Jun Sasaki**

Manager of Residential  
Research Division  
Institute for Building Energy  
Conservation  
2F Sogonibancho Bldg.  
4-5 Niban-cho, Chiyoda-ku,  
Tokyo 102-0084  
Tel: 81 3 3222 6691  
Fax: 81 3 3222 6696  
佐々木 淳  
(財)住宅・建築省エネルギ  
ー機構 住宅研究部課長  
〒102-0084 東京都千代田区  
二番町 4-5  
Tel 03-3222-6692  
Fax 03-3222-6696

**Takao Sawachi** ○◎●

Head of Building Services  
Division  
Building Research Institute  
Ministry of Construction  
1 Tachihara, Tsukuba-shi  
Ibaraki 305-0802  
Tel: 81 298 64 6674  
Fax: 81 298 64 6775  
澤地 孝男  
建設省建築研究所第5研究部  
設備計画研究室長  
〒305-0802 茨城県つくば市  
立原 1 番  
Tel 0298-64-6674  
Fax 0298-64-6775

**Hironao Seto** ■

Sr. Researcher, Building  
Services Division  
Building Research Institute  
Ministry of Construction  
1 Tachihara, Tsukuba-shi,  
Ibaraki 305-0802  
Tel 81 298 64 6678  
Fax: 81 298 64 6775  
瀬戸 裕直  
建設省建築研究所第5研究部

設備計画研究室 主任研究員  
〒305-0802 茨城県つくば市  
立原 1 番  
Tel 0298-64-6678  
Fax 0298-64-6775

**Tatsuhiko Shinohara**

Senior Staff  
Flat Glass Manufactures  
Association of Japan  
2f Shinkokusai Bldg.  
3-4-1 Marunouchi,  
Chiyoda-ku, Tokyo  
100-0005  
Tel: 81 3 3212 8631  
Fax: 81 3 3216 3726  
篠原 辰彦  
板硝子協会 調査役  
〒100-0005 東京都千代田区  
丸の内 3-4-1 新国際ビル2階  
Tel 03-3212-8631  
Fax 03-3216-3726

**Masahiko Sunagawa**

Yamauchi Planning Inc.  
6F Toranomon  
Aduma Bldg. 3-8-2,  
Toranomon, Minato-ku  
Tokyo 105-0001  
Tel: 81 3 5404 7201  
Fax: 81 3 5404 7202  
砂川 雅彦  
(株)山内設計室  
〒105-0001 東京都港区虎ノ  
門 3-8-2 虎ノ門吾妻ビル6階  
Tel 03-5404-7201  
Fax 03-5404-7202

**Hidetoshi Suzuki** ○●

Housing Engineer  
Toyota Motor Company  
1, Hikisawa, Kagiya-cho,  
Kasugai-shi, Aichi 480-0304  
Tel: 81 568 88 0903  
Fax: 81 568 88 3823  
鈴木 秀年

トヨタ自動車(株)住宅開発部  
すまい総合研究所  
〒480-0304 愛知県春日井市  
神屋町引沢1  
Tel 0568-88-0903  
Fax 0568-88-3823

**Hirotaka Suzuki**  
Hokkaido Prefectural Cold  
Region Housing and Urban  
Research Institute  
4-1, 24 ken, Nishi-ku,  
Sapporo-shi, Hokkaido  
063-0804

Tel: 81 11 621 4211 (273)  
Fax: 81 11 621 4215  
鈴木 大隆  
北海道立寒地住宅都市研究所  
〒063-0804 北海道札幌市西  
区24軒4-1  
Tel 011-621-4211  
Fax 011-621-4215

**Masahiro Takahara**  
Architectural Dept.  
Nippon Sheet Glass Co.  
Sumitomo-Fudosan, Shiba  
Bldg., 1-11-11, Shiba,  
Minat-ku, Tokyo 105-0014  
Tel: 81 3 5443 0154  
Fax: 81 3 5443 0155  
高原 正弘  
日本板硝子(株)建築硝子部技  
術グループ 主席技師  
〒105-0014 東京都港区芝1-  
11-11  
Tel 03-5443-0154  
Fax 03-5443-0155

**Toshiaki Takakura**  
Chairman, R-2000  
Committee / President  
Yonekura Home Co.  
Japan 2x4 Home Builders  
Association  
1-18, Higashi, 14 chome,

Kita 33 jo, Higashi-ku,  
Sapporo-shi, Hokkaido  
065-0033  
Tel: 81 11 721 2428  
Fax: 81 11 741 8842  
高倉 俊明  
(社)日本ツーバイフォー建築  
協会 R-2000 住宅委員会  
委員長  
〒065-0033 北海道札幌市東  
区北33条東14-1-18  
Tel 011-721-2428  
Fax 011-741-8842

**Tsuyoshi Takeda** ■  
Utilization Technology Dept.  
Osaka Gas Co. 1-1-3,  
Shiratsu, Hokko,  
Konohana-ku Osaka-shi  
Osaka 554-0041  
Tel: 81 6 6460 6200 (2000)  
Fax: 81 6 6460 6281  
竹田 剛  
大阪ガス(株)営業技術部  
〒554-0071 大阪府大阪市此  
花区北港白津1-1-3  
Tel 06-6460-6200  
Fax 06-6460-6281

**Junichi Tezuka** ■  
J. Architecture System Inc.  
7-15 Maeda, Teine-ku,  
Sapporo-shi, Hokkaido  
006-0817  
Tel: 81 11 681 2161  
Fax: 81 11 681 3622  
Email:  
j-tezuka@jsn.justnet.or.jp  
手塚 純一  
北海道工業大学  
J 建築システム  
〒006-0817 北海道札幌市手  
稲区前田7-15  
Tel 011-681-2161  
Fax 011-681-3622

**Takao Tsuchiya** ◎●  
Professor  
Toyo University  
2100 Nakanodai, Kujirai,  
Kawagoe-shi, Saitama  
350-0815  
Tel: 81 492 39 1418  
Fax: 81 492 311400  
土屋 喬雄  
東洋大学工学部 教授  
〒350-0815 埼玉県川越市鯨  
井中野台2100  
Tel 0492-39-1418  
Fax 0492-31-1400

**Hideo Uno**  
Member, R-2000 Committee,  
V.P.  
Nice Healthy Home Co.  
JRT3 Bldg., 2-2-5, Nishi-  
Koigakubo, Kokubunji-shi,  
Tokyo 185-0013  
Tel: 81 42 328 5211  
Fax: 81 42 328 5191  
鶴野 日出男  
R-2000 住宅委員会 委員/ナ  
イスハーティホーム(株)  
専務取締役  
〒185-0013 東京都国分寺市  
西恋ヶ窪2-2-5 JRT3ビル  
Tel 0423-28-5211  
Fax 0423-28-5191

**Hiromi Watanabe**  
President  
Fujishima Construction Co.  
Ltd.  
2-14-12, Minami-Maekawa  
Kawaguchi-shi, Saitama  
333-0846  
Tel: 81 48 265 8888  
Fax: 81 48 265 8843  
渡邊 弘美  
(株)藤島建設 代表取締役  
〒333-0846 埼玉県川口市南  
前川2-14-12

Tel 048-265-8888  
Fax 048-265-8843

Tel 03-3222-6691  
Fax 03-3222-6696

**Nobuyuki Yano**

Nakase-No-Ie

21-18 Inda-cho, Hirakata-shi

Osaka 573-0017

Tel: 81 720 47 0586

Fax: 81 720 47 0586

矢野 宣行

博士の家

〒573-0017 大阪府枚方市印

田町 21-18

Tel 0720-47-0586

Fax 0720-47-0586

**Naoji Yazawa**

Vice-President,

Fukoku Bussan Inc.

806 Higashi-wada,

Nagano-shi, Nagano

381-8602

Tel: 81 26 243 1321

Fax: 81 26 243 1245

矢澤 直司

富国物産(株) 取締役副社長

〒381-8602 長野県長野市東

和田 806

Tel 026-243-1321

Fax 026-243-1245

**Tatsuo Yoshimoto**

Director of Res

idential Research Division

Institute for Building Energy

Conservation

2F Sogonibancho Bldg.,

4-5, Niban-cho, Chiyoda-ku,

Tokyo 102-0084

Tel: 81 3 3222 6692

Fax: 81 3 3222 6696

由本 達雄

(財)住宅・建築 省エネルギー

機構 住宅研究部長

〒102-0084 東京都千代田区

二番町 4-5 相互二番町ビル 2F